

MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL: Educação, Gestão e Tecnologias Ambientais

Marielle Feilstrecker

Mônica Beatriz Kolicheski



MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL: Educação, Gestão e Tecnologias Ambientais

MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL: Educação, Gestão e Tecnologias Ambientais

Organização:

Marielle Feilstrecker

Mônica Beatriz Kolicheski



Setor de Tecnologia da UFPR

VERSÃO DIGITAL

CURITIBA

2018

Todos os direitos reservados ao PPGMAUI. É proibida a duplicação ou reprodução total desta obra sob quaisquer formas ou por meios, sejam estes eletrônico, fotocópia, distribuição na WEB ou outros.

É permitida a reprodução parcial, desde que citada a fonte e que não seja para qualquer fim comercial.

Com o intuito de promover a difusão do conhecimento científico tanto autores como organizadores foram cuidadosos na escrita e revisão do texto para respeitar os direitos autorais de qualquer material utilizado neste livro.

As informações contidas nos capítulos deste livro são de responsabilidade dos autores de cada capítulo.

Depósito Legal na Biblioteca Nacional (Decreto no 1.825/1907).

Imagens da capa, abertura dos capítulos e rodapé: Schutterstock

M514 **Meio ambiente urbano e industrial: educação, gestão e tecnologias ambientais meio ambiente urbano e industrial: educação, gestão e tecnologias ambientais / Organização: Marielle Feilstrecker e Monica Beatriz Kolicheski – Curitiba : UFPR : SENAI : Universidade de Stuttgart, 2018. 236 p. il. color.**

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-5780-027-4

1. Gestão ambiental. 2. Sustentabilidade. 3. Tecnologias ambientais. 4. Educação ambiental. 5. Eficiência energética. 6. Logística reversa. 7. Poluição sonora. 8. Água na indústria. I. Feilstrecker, Marielle (org.). II. Kolicheski, Mônica Beatriz. III. Título

CDD: 628.5

COMITÊ CIENTÍFICO:

Alexandre Knesebeck	Universidade Federal do Paraná
Andrés Felipe Rodriguez Torres	Programa de Sustentabilidade na EACH-USP
Anézia Maria Fonsêca Barbosa	Universidade Federal de Sergipe
Arlene Renk	Universidade Comunitária da Região de Chapecó
Bani Szeremeta	Universidade Federal do Paraná
Camilo Freddy Mendoza Morejon	Universidade do Oeste do Paraná
Daguinete Maria Chaves Brito	Universidade Federal do Amapá
Eliara Solange Muller	Universidade Comunitária da Região de Chapecó
Guilherme Malafaia Pinto	Universidade Federal de Goiás
Hamilton Afonso de Oliveira	Universidade Estadual de Goiás
Isabel Jurema Grimm	Instituto Superior em Administração e Economia - ISAE.
Karina Mary de Paiva	Universidade Federal de Santa Catarina
Mariana C. Chrispim	Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade-USP.
Marielle Feilstrecker	Programa de Pós-Graduação Meio Ambiente Urbano e Industrial - UFPR
Marlon Brancher	Universidade Federal de Santa Catarina
Monica Beatriz Kolicheski	Universidade Federal do Paraná
Mônica Maria Pereira Tognella	Universidade Federal do Espírito Santo
Patricia Charvet	Programa de Pós-Graduação Meio Ambiente Urbano e Industrial - UFPR
Roberth Andres Villazon Montalvan	Universidade Federal de Santa Catarina
Sandra Tédde Santaella	Universidade Federal do Ceará
Terezinha Corrêa Lindino	Universidade do Oeste do Paraná
Vania Irene Stonoga	Universidade Federal do Paraná



*Mude suas opiniões, mantenha seus princípios.
Troque suas folhas, mantenha suas raízes.*

Victor Hugo





PREFÁCIO

O curso de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) iniciou as atividades em 2008 e até o presente já formou mais de 140 mestres e Meio Ambiente Urbano e Industrial. O PPGMAUI tem como missão a formação de profissionais de qualidade e de forma inovadora ao envolver uma parceria com três instituições (UFPR, SENAI/PR e Universität Stuttgart) e unir educação, setor produtivo, internacionalização e inovação tecnológica em um único programa de mestrado profissional e permite a troca de experiências culturais e técnicas.

O PPGMAUI envolve a parceria de três instituições: UFPR, SENAI-PR e Universität Stuttgart, com foco na educação, na indústria, na internacionalização e inovação tecnológica. Várias produções técnicas e científicas elaboradas por docentes, discentes e egressos estão relacionadas com a temática ambiental.

Com o foco na pesquisa e na internacionalização o PPGMAUI promove anualmente, com apoio do *Deutscher Akademischer Austauschdienst* (DAAD), três modalidades de intercâmbio: Curso de Extensão Internacional na Alemanha, estudar na Alemanha e Dupla Diplomação com a Universidade de Stuttgart.

O Curso de Extensão Internacional tem duração de 15 dias e com o objetivo possibilitar aos docentes e discentes do PPGMAUI a participação em palestras, visitas técnicas em instalações industriais e municipais e visitas culturais na região de Stuttgart - Alemanha. As palestras são relacionadas a temas de pesquisas desenvolvidas na área de meio ambiente tais como: resíduos sólidos, tratamento de água e efluentes, novas alternativas para recuperação de materiais, gestão de sistemas ambientais, legislação ambiental, dentre outros. As visitas técnicas são realizadas em estações de tratamento de água, estações de tratamento de efluentes, centrais de reciclagem de resíduos sólidos, indústrias de diversos ramos (metalúrgica, automobilística, reciclagem de resíduos, equipamentos de limpeza), as quais aplicam na prática soluções de reúso de água e efluentes, bem como a reciclagem de materiais dentro dos processos. Também são apresentados durante as visitas a gestão e controle de processos bem como a interface com a legislação vigente.

O intercâmbio Estudar na Alemanha tem a característica de mestrado sanduiche, cujo objetivo é possibilitar aos discentes do PPGMAUI desenvolver parte de seu projeto de pesquisa na Universität Stuttgart por um período de 8 meses.

Na Dupla Diplomação os discentes do PPGMAUI ficam por um ano na Alemanha e aos discentes que participam da DD são concedidos graus de Mestre de ambas as instituições.



Com o foco de fomentar o conhecimento iniciou-se em 2016 o projeto de organização de livros com temas que abordam as linhas de pesquisa do programa e difundir as ações realizadas no PPGMAUI os livros são de livre acesso e estão disponibilizados no site do programa.

Os temas abordados nos últimos anos foram:

- Avaliação, planejamento e tecnologias aplicadas ao meio ambiente urbano e industrial.
- Meio Ambiente Urbano e Industrial: Soluções, tecnologias e estratégias aplicadas à gestão.
- Meio Ambiente Urbano e Industrial: Desafios, tecnologias e soluções.

Em 2018 foi organizado este livro que trata de temas como educação, gestão e tecnologias ambientais, tanto no ambiente urbano como no industrial.

Os capítulos deste livro foram elaborados pelos docentes, discentes, egressos do PPGMAUI e de pesquisadores que colaboram com as ações do programa. Para avaliação dos capítulos houve o envolvimento de diversas IES e docentes que contribuíram para a qualidade desta obra.

O primeiro capítulo trata da construção de um programa de educação ambiental que amplifique a consciência de preservação ambiental universitária e popular para preservar este pequeno rio e da aplicação da metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) para discentes da UFPR de diversos cursos de graduação que participam do projeto de extensão universitária que tem como objeto a revitalização do rio Areiãozinho.

O capítulo 2 apresenta o levantamento da literatura sobre iniciativas colaborativas que avaliam as cadeias de suprimentos sob o enfoque de gestão sustentável, identificando as práticas comuns adotadas e que servem como referência para serem replicadas e, em seguida, o detalhamento das iniciativas específicas para o segmento ambiental, com mapeamento dos países e regiões contemplados pelos programas de qualificação de fornecedores.

No capítulo 3 apresenta um estudo sobre a gestão de gases de aterro apresentando a relevância do monitoramento periódico das emissões geradas em aterros sanitários, incluindo a etapa de pós-encerramento, e foi também realizada uma comparação entre o Brasil e a Alemanha que foi realizada em 2016 com a participação de um dos autores no Curso de Extensão Internacional na Alemanha.



O capítulo 4 apresenta uma discussão três índices econômico, que podem ser calculados em qualquer região e para qualquer matriz energética. Com estes indicadores é possível propor uma discussão e fomentar uma tomada de decisão eficiente para a renovação de parque gerador de energia elétrica, bem como estudos de viabilidade econômica para pequenas centrais elétricas.

O capítulo 5 mostra as políticas para a eficiência energética na Alemanha e no Brasil, suas estratégias, políticas e seus resultados. A partir das matrizes de combustíveis apresenta-se como cada país tem procurado incrementar eficiência no uso da energia, bem como a relação entre eficiência e a matriz de energia do país. Com a política energética é possível promover mudanças e substituições nos insumos, incorporando melhorias tecnológicas, substituindo equipamentos e, adequando os produtos.

O capítulo 6 apresenta uma ampla revisão da literatura sobre as potencialidades tecnológicas factíveis para a logística reversa e o reaproveitamento completo da matéria das lâmpadas fluorescentes com ênfase ao potencial de recuperação de elementos de terras raras (REE) do pó fosfórico fluorescente.

Os capítulos 7 e 8 são estudos advindos da participação de pelo menos um dos autores no Curso de Extensão Internacional na Alemanha realizado pelo PPGMAUI em 2017 e apresentam comparações entre o Brasil e a Alemanha em termo de gestão, legislação e tecnologias.

No capítulo 7 está relacionado com o aproveitamento energético do coprocessamento no Brasil e na Alemanha, destacando aspectos tecnológicos, operacionais e de legislação ambiental aplicada ao coprocessamento, apresentando a tipologia de resíduos utilizados e vias de alimentação aos fornos e apresentando uma análise crítica entre os dois países.

E o capítulo 8 apresenta uma comparação sobre os procedimentos de controle da qualidade da água de abastecimento no Brasil e na Alemanha, as legislações referentes para consumo humano de acordo com as orientações da Organização Mundial da Saúde (OMS), União Europeia (UE) e com os padrões brasileiros.

O capítulo 9 trata dos resultados de pesquisa para a avaliação do grau de conforto acústico na cidade de Curitiba, Paraná, Brasil, onde os cidadãos estão expostos. O estudo foi realizado próximo à entrada de embarque das Estações-Tubo do sistema *Bus Rapid Transit* (BRT). Esta modalidade de ruído de atinge milhares de pessoas, pedestres urbanos e passageiros dos sistemas de transporte.



A colaboração dos autores com o desenvolvimento dos capítulos foi de fundamental importância para a organização desta obra bem como dos revisores que permitiram a escolha dos melhores trabalhos para compor o livro MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL: Educação, Gestão e Tecnologias Ambientais, assim agradecemos a todos os envolvidos e esperamos que os leitores aproveitem todas as informações relevantes aqui apresentadas.

Marielle Feilstrecker e Mônica Beatriz Kolicheski



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - EDUCAÇÃO AMBIENTAL FUNDAMENTADA NA REVITALIZAÇÃO E RENATURALIZAÇÃO DE UM RIO URBANO 1

Alvaro Luiz Mathias, Maria Emília Martins Ferreira e Paulo Afonso Bracarense Costa

1. CONTEXTUALIZAÇÃO	4
1.1. Rio Areiãozinho	4
1.2. Extensão Acadêmica	5
1.3. Filosofia, Abrangência e Metodologia do Projeto de Extensão "Areião das Águas"	5
2. EXECUÇÃO DO PROJETO DE EXTENSÃO "AREIÃO DAS ÁGUAS"	6
2.1. Abrangência do Projeto de Extensão	6
2.2. Local de Estudo	7
2.3. Aprendizagem Baseada em Problemas	13
2.4. Divulgação do Projeto	15
2.5. Atividades de Campo Consolidadas	15
3. PERSPECTIVAS FUTURAS	18
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

CAPÍTULO 2 - MERCADO DE BENS E SERVIÇOS AMBIENTAIS E A APLICAÇÃO DE PROGRAMAS COLABORATIVOS PARA QUALIFICAÇÃO 22

Patrícia Accioly Calderari da Rosa e Marielle Feilstrecker

1. CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO DE BENS E SERVIÇOS AMBIENTAIS	23
2. SELEÇÃO E QUALIFICAÇÃO DE PRESTADORES DE SERVIÇOS AMBIENTAIS	30
3. INICIATIVAS COLABORATIVAS	31
4. METODOLOGIA ADOTADA NESTE ESTUDO	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Iniciativas Colaborativas para Gestão Sustentável de Fornecedores	33
5.2. Iniciativas Colaborativas Específicas para o Segmento Ambiental	35
5.3. Oportunidades para Constituição de Iniciativa Local	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40



CAPÍTULO 3 - GESTÃO DE GASES DE ATERROS SANITÁRIOS NO BRASIL E ALEMANHA 42

Jéssica de Miranda Paulo e Andreas Friedrich Grauer

1. GASES GERADOS EM ATERROS SANITÁRIOS	45
2. GERAÇÃO DE GÁS DE ATERRO SANITÁRIO NO BRASIL	49
3. GERAÇÃO DE GÁS DE ATERRO SANITÁRIO NA ALEMANHA	50
4. MEDIÇÃO DE METANO EM ATERROS NO BRASIL E ALEMANHA	51
4.1. Medição de Metano em Aterros no Brasil	51
4.2. Medição de Metano em Aterros na Alemanha	53
5. PROCEDIMENTOS PARA REDUZIR A EMISSÃO DE METANO EM ATERROS PÓS-ENCERRAMENTO NO BRASIL E NA ALEMANHA	55
5.1. Procedimentos para Reduzir a Emissão de Metano em Aterros Pós-Encerramento no Brasil	55
5.2. Procedimentos para Reduzir a Emissão de Metano em Aterros Pós-Encerramento na Alemanha	56
6. COMPARAÇÃO ENTRE ATERROS NO BRASIL E NA ALEMANHA	57
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

CAPÍTULO 4 - MATRIZ ENERGÉTICA MAIS LIMPA: SUGESTÃO DE REESTRUTURAÇÃO PARA O PARQUE GERADOR BRASILEIRO A PARTIR DE ÍNDICES ECONÔMICOS ENERGÉTICOS 65

Nicolas Lazzaretti Berhorst, Andreas Friedrich Grauer, Daniela Neuffer e Arno Paulo Schmitz

1. EMISSÕES DE CARBONO	67
2. MENSURAÇÃO ENERGÉTICA	69
3. SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)	72
4. MENSURAÇÃO ECONÔMICA	73
5. CÁLCULO DOS ÍNDICES ECONÔMICOS ENERGÉTICOS	74
5.1. Custo Nivelado de Energia Elétrica (LCOE)	74
5.2. Custo de Mitigação (CoM)	75
5.3. Densidade Energética (DE)	77
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
6.1. Custo Nivelado de Energia Elétrica (LCOE)	77
6.2. Custo de Mitigação (CoM)	81



6.3. Densidade Energética (DE)	84
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

CAPÍTULO 5 - POLÍTICAS ENERGÉTICAS NA ALEMANHA E NO BRASIL: DA MATRIZ DE INSUMOS À EFICIÊNCIA NA INDÚSTRIA	92
--	----

Sérgio Silveira de Barros, Patrícia Charvet e Klaus Martin Fischer

1. ESTRATÉGIAS POLÍTICAS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ALEMANHA	94
2. ESTRATÉGIAS POLÍTICAS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	96
3. <i>CASES</i> DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ALEMANHA E NO BRASIL	102
4. ALGUNS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E BARREIRAS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	108
5. INTENSIDADE ENERGÉTICA DA INDÚSTRIA: UM INDICADOR DE EFICIÊNCIA	110
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

CAPÍTULO 6 - REPENSANDO A LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADAS FLUORESCENTE EM DESUSO COM APROVEITAMENTO COMPLETO DE MATÉRIA	117
---	-----

Alvaro Luiz Mathias e Klaus Martin Fischer

1. DESTINAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO	119
2. TRATAMENTO TÉRMICO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO	120
3. LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUO SÓLIDO ELETROELETRÔNICO	120
4. DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA NATURAL E DA RECICLAGEM	121
5. RESÍDUO SÓLIDO URBANO ELETRÔNICO E SEU POTENCIAL DE RECICLAGEM	124
6. OPERAÇÕES UNITÁRIAS PARA PREPARO DA RECICLAGEM DE PRODUTOS ELETRÔNICOS	124
7. LOGÍSTICA REVERSA DA LÂMPADA FLUORESCENTE	125
7.1. O Uso da Lâmpada Fluorescente e sua Demanda de Reciclagem	125
7.2. Componentes da Porção Tubular da Lâmpada Fluorescente	126
7.3. Cuidados Especiais na Logística Reversa de Lâmpada Fluorescente	127
7.4. Estado Atual da Reciclagem da Lâmpada Fluorescente	127
7.5. Perspectivas da Reciclagem Completa da Lâmpada Fluorescente	128
8. RECUPERAÇÃO ELEMENTOS DE TERRAS RARAS DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES	129
8.1. Os Elementos de Terras Raras	129
8.2. Aplicações e Produção de Elementos de Terras Raras	130
8.3. Relações da Composição do Pó Luminescente de Fósforo e a Emissão Lumínosa	131



8.4. Recuperações das Frações do Pó Fosfórico Luminescente	132
8.5. Potenciais de Reciclagem de Elementos de Terras Raras do Pó Fosfórico Luminescente	133
9. TECNOLOGIA FACTÍVEL PARA RECICLAGEM QUASE TOTAL DA LÂMPADA FLUORESCENTE	138
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	139
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140

CAPÍTULO 7 - APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS: COPROCESSAMENTO NO BRASIL E NA ALEMANHA

144

Rejane Afonso Pries, Klaus Martin Fisher e Margarete Casagrande Lass Erbe

1. CONTEXTUALIZAÇÃO	146
2. PANORAMA DAS CIMENTEIRAS E O VOLUME COPROCESSADO	146
3. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL PARA O COPROCESSAMENTO – BRASIL E ALEMANHA	148
4. TECNOLOGIAS NOS FORNOS DE CIMENTO RELACIONADAS AO COPROCESSAMENTO	152
5. PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS NOS FORNOS DE CLÍNQUER	155
6. EQUIPAMENTOS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS NOS FORNOS DE CLÍNQUER	155
7. TIPOLOGIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS COPROCESSADOS	157
8. COMPARAÇÃO ENTRE O BRASIL E A ALEMANHA	158
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161

CAPÍTULO 8 - CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL NO BRASIL E NA ALEMANHA

165

Paulo Antonio do Vale Junior, Daniela Neuffer e Regina Maria Matos Jorge

1. <i>GUIDELINE</i> DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS) PARA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO	167
2. NORMAS E LEIS BRASILEIRAS EM RECURSOS HÍDRICOS	168
3. NORMAS E LEIS EUROPEIAS SOBRE RECURSOS HÍDRICOS	169
4. EXEMPLOS DE MONITORAMENTO E PROCEDIMENTOS DE CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA	171
4.1. Monitoramento da Qualidade da Água dos Mananciais de Abastecimento Público de Curitiba e Região Metropolitana de Curitiba (RMC)	171
4.2. Sinalização de Mananciais	174
4.3. Programa de Revitalização de Rios Urbanos (PRRU)	176
5. EXEMPLOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL NO LAGO DE	176



CONSTANÇA EM BADEN-WÜRTTEMBERG – ALEMANHA	
5.1. Abastecimento de Água do Lago de Constança	177
5.2. <i>Institute für Seenforschung</i> – ISF (Instituto de Pesquisa de Lagos)	179
5.3. Sinalização de Mananciais na Alemanha	180
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	181
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	182

CAPÍTULO 9 - AVALIAÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO EM ESTAÇÕES – TUBO PARA AS DIFERENTES ÁREAS DE ZONEAMENTO DA CIDADE DE CURITIBA	185
---	-----

*Geanesson Alberto de Oliveira Santos, Regina Weinschutz, Alvaro Luiz Mathias e
Paulo Henrique Trombetta Zannin*

1. RUÍDO AMBIENTAL	187
1.1. Ruído de Tráfego	188
2. A EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO EM CURITIBA	188
2.1. As Estações - Tubo	189
3. LEGISLAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA	190
3.1. Resolução Conama nº 008/1993	191
3.2. Lei Municipal nº 10.625:2002 da Cidade de Curitiba	192
4. ÁREAS DE ESTUDO	193
5. EQUIPAMENTO ACÚSTICO UTILIZADO E PROCEDIMENTO DE ENSAIO	194
6. AVALIAÇÃO EMPÍRICA PRÓXIMA AS ESTAÇÕES - TUBO	195
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	195
7.1. Níveis Equivalentes de Imissão Sonora	195
7.2. Níveis Mínimos de Imissão Sonora	196
7.3. Níveis Máximos de Imissão Sonora	198
7.4. Avaliações Empíricas dos Locais de Medições	199
7.5. Estimativa de Incômodo ao Ruído	202
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	204
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	205
10. APÊNDICE I	209
11. APÊNDICE II	210



EDUCAÇÃO AMBIENTAL FUNDAMENTADA NA
REVITALIZAÇÃO E RENATURALIZAÇÃO DE
UM RIO URBANO

ALVARO LUIZ MATHIAS
MARIA EMÍLIA MARTINS FERREIRA
PAULO AFONSO BRACARENSE COSTA



EDUCAÇÃO AMBIENTAL FUNDAMENTADA NA REVITALIZAÇÃO E RENATURALIZAÇÃO DE UM RIO URBANO

A sustentabilidade pode ser alcançada quando um projeto é culturalmente aceito, socialmente justo, economicamente viável e ecologicamente correto (SOUZA et al, 2015). Essa filosofia tem sido aplicada à bacia hidrográfica, como no uso da terra do Rio Salobra, MS (SILVA NETO, 2012), e na instalação de empresas de atividades de lazer e turismo baseados em aspectos técnicos e socioambientais, como na barragem Piracuruca, PI (FERREIRA; LOPES; ARAÚJO, 2012). Esse mesmo cuidado foi recomendado para ser aplicado às bacias de rios urbanos e na política de mitigar rios degradados pelo processo de urbanização desordenado (SILVA-SÁNCHEZ; JACOBI, 2012).

Projetos de melhoria de qualidade de água de rios e córregos urbanos geralmente abrangem a revitalização de espaços públicos associados a serem preservados pela sua importância ambiental. Isto pode envolver mudanças de uso do solo urbano e substituição de atividades econômicas (KIBEL, 2007), o que torna o processo complexo e de difícil realização. Ainda, a revitalização pode envolver remoção de favelas em área de risco, construção de moradias populares, obras de controle de erosão, despoluição do corpo hídrico, instalação de coletor-tronco de esgotamento de águas residuárias urbanas e desenvolvimento do projeto paisagístico. Assim, envolvem diferentes secretarias, departamentos, e mesmo outros níveis de governo.

A ação também deve contemplar educação ambiental (SILVA-SÁNCHEZ; JACOBI, 2012). No entanto, essas barreiras podem ser minimizadas desde que ocorra a motivação da população com a conscientização da necessidade da sustentabilidade ambiental. Por exemplo, uma visão otimista dos benefícios da educação ambiental focada no rio Hudson e seu estuário pela visita do ambiente revitalizado revelou que há uma crescente compreensão dos sistemas ecológicos e que podem levar a impactos ambientais benéficos no futuro. Neste caso, apesar de elevado gasto com transporte dos alunos para visita do rio, estimado pela análise de economia ambiental de valoração, revelou que há um saldo extremamente positivo do benefício econômico do município (HUTCHESON; HOAGLAND; JIN, 2018).

No caso do rio Areãozinho, o gasto com transporte pode ser praticamente nulo devido à proximidade dos entes alvos, os discentes da UFPR e de diversas escolas públicas contidas na bacia. Nesse âmbito, a academia, a Universidade Federal do Paraná (UFPR) aceitou o desafio de revitalização do rio Areãozinho com uma abordagem de educação ambiental. Para tal, uma ferramenta de aprendizagem para intensificação de conhecimento foi adotada, sendo que há várias metodologias para desenvolver autonomia de modo a atingir os objetivos pré-estabelecidos (BERBEL, 2011). Neste aspecto, a legislação nacional da educação (BRASIL, 1996) apresenta objetivos próprios

(Tabela 1) de acordo com os diferentes níveis de escolaridade. Assim, a escola deve atuar para promover o desenvolvimento humano, a conquista de níveis complexos de pensamento e de comprometimento em suas ações, bem como contemplar os diferentes tipos de informações a serem adquiridas (BERBEL, 2011).

Tabela 1 – Objetivos da educação de acordo com os diferentes níveis de escolaridade.

Nível de ensino	Objetivos
Fundamental	Desenvolvimento da capacidade de aprendizagem para aquisição de conhecimentos e habilidades e a formação de atitudes e valores.
Médio	Aprimoramento do educando como pessoa humana de modo a ter formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico.
Superior	Estimular a criação cultural e o desenvolvimento do espírito científico e do pensamento reflexivo.

Fonte: Adaptado de BRASIL (1996)

As atividades de extensão universitária surgem como uma ferramenta de aprendizagem complementar a formação tradicional (Tabela 1). A autonomia do aluno possibilita envolvimento pessoal, baixa pressão e alta flexibilidade em sua execução e percepção de liberdade psicológica e de escolha. Isto se diferencia do aprendizado clássico, onde agem em função de eventos externos como pressões e obrigações, prazos fatais, recompensas, punições e ameaças (BZUNECK; GUIMARÃES, 2007). Assim, os professores e pesquisadores tutores envolvidos na orientação funcionam como facilitador das ações de modo a se atingir o objetivo do projeto e minimiza a situação adversa descrita anteriormente.

Uma abordagem de aprendizagem para intensificação de conhecimento é a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP; ou *Problem Based Learning*, PBL). A ABP surgiu na Universidade Mc Master no Canadá, Cidade de Hamilton, estado de Ontário, na década de 1960. A seguir, foram adotados nas Universidades de Maastricht, Holanda, e Harvard e Cornell, Estados Unidos. No Brasil, a Faculdade de Medicina de Marília (1997), a Universidade Estadual de Londrina (1998) e a Universidade São Francisco (1999) também têm utilizado essa filosofia. Essa metodologia de ensino demanda turmas pequenas (PAULIN; POÇAS, 2009), o que torna limitado seu uso nas disciplinas da graduação da Universidade Federal do Paraná (UFPR), mas que é viável em projetos de extensão.

O objetivo deste projeto de extensão é a educação ambiental como ferramenta de revitalização de um rio urbano. Neste contexto, um projeto educacional de extensão universitária tem sido desenvolvido unindo o saber acadêmico e o popular para aprimorar

alunos da UFPR como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico (BRASIL,1996). Ainda, a ação dos discentes do ensino superior servirá como multiplicador de conhecimento e, posteriormente, os alunos de ensino fundamental; depois de serem preparados. A revitalização e renaturalização do rio Areiãozinho, com nascente próximo ao Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e que deságua no principal rio interno do município de Curitiba, foi escolhido como problema para aplicação do ABP na formação ambiental dos discentes participantes.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1. RIO AREIÃOZINHO

O rio Areiãozinho é um arroio com nascente ao lado do campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, bairro Jardim das Américas, na região leste da cidade de Curitiba. Deságua no baixo Rio Belém, bairro Uberaba, depois de percorrer 3,78 km. O rio Belém nasce na região norte da cidade e percorre 17 km, abrigando cerca de 40% da população de Curitiba e 48 bairros. A área da bacia do Areiãozinho é de 6,30 km², sendo que a maior parte deste rio corre a céu aberto e uma pequena parte foi canalizada. As diferenças socioeconômicas da população desde a sua nascente até a foz são enormes. Há um bairro de classe média na parte alta da bacia, enquanto que, na sua foz, uma população de baixa renda vive em condições habitacionais e ambientais inaceitável. (BRACHT, 2008). O que está de acordo com a filosofia de que regiões próximas a rios urbano podem se tornar áreas indesejadas pela população com maior poder aquisitivo, principalmente devido a problemas com enchentes (HEINRICH et al, 2015).

Recentemente, uma análise detalhada das condições da bacia do rio Belém revelou que a qualidade da água do rio Areiãozinho está diretamente relacionada com a qualidade da água do rio Belém. Este fato foi atribuído a sua localização; ou seja, ao sul da bacia do baixo Belém, que é a região de maiores índices de poluição e com maior necessidade de intervenção. Logo, o rio Areiãozinho também se apresenta como um bom indicador da qualidade da água da bacia do Belém, ou seja, bom indicador da efetividade de ações de programas de revitalização desenvolvidos na região, o que reforça a importância do projeto proposto (LARA, 2014).

Em 2017, a administração do município de Curitiba revelou interesse em revitalizar o rio Belém. Para tal, uma audiência pública ocorreu em 22 de março (Figura 1), coincidindo com o Dia Mundial da Água, para apresentar a situação atual e as perspectivas de revitalização do rio; com a participação da Engenheira Mayra Viviane

Rochavetz de Lara; colaboradora do projeto de extensão e membro do quadro de funcionários da SANEPAR.



Figura 1 - Audiência pública na câmara municipal de Curitiba em 22/03/2017.

Fonte: Os autores, 2017

1.2. EXTENSÃO ACADÊMICA

A extensão acadêmica, também denominada extensão universitária, “é um processo educativo, cultural, científico ou tecnológico, que articula o ensino e a pesquisa de forma indissociável e viabiliza a relação transformadora entre a universidade”, no caso a Universidade Federal do Paraná (UFPR), “e os demais segmentos da sociedade” (UFPR, 2011; UFPR, 2012). Assim, um programa de educação ambiental para discentes de escolas municipais do entorno de um rio urbano nas proximidades da UFPR foi inicialmente idealizado com participação de professores, técnico-administrativos e discentes voluntários.

1.3. FILOSOFIA, ABRANGÊNCIA E METODOLOGIA DO PROJETO DE EXTENSÃO “AREIÃO DAS ÁGUAS”

FILOSOFIA:

No caso específico, este projeto é inclusivo e participativo e se baseia nos paradigmas das teorias construtivistas de Jean Piaget (Epistemologia Genética) e de Lev Vygotsky (Teoria do Desenvolvimento Cultural), os quais propuseram que o conhecimento é construído durante toda a vida do indivíduo. Nesse cenário, a academia, representada pela sua comunidade, é o elemento intermediário entre o saber erudito e o popular capaz de incorporar, em média, as experiências e concepções de toda uma comunidade. Assim, a concepção construtivista reflete que “o fator humano no meio social (ou socioambiental) tem uma importância destacada, e o indivíduo é considerado alguém que vai se construindo em meio à rede de relações que estabelece” (SOLA, 2016). Neste caso,

a educação ambiental é a ferramenta central da ação de recuperação de rio urbano e, no caso de sucesso, poderá ser replicada como modelo para pequenos rios e, quem sabe, até maiores.

ABRANGÊNCIA:

As ações foram divididas em temas consoantes com a formação dos participantes da academia e com a demanda observada em estudo de campo. Lembrando que, a educação ambiental permeia por todas as ações seja no meio acadêmico nos diversos níveis, para passantes ou para os moradores do entorno do rio Areiãozinho.

O objetivo deste trabalho é apresentar a filosofia proposta para educação ambiental para revitalização e renaturalização de um rio urbano e também ilustrar algumas ações pré-estabelecidas já realizadas.

METODOLOGIA:

Um grupo de docentes, pesquisadores da UFPR e vários alunos de graduação foram convidados para compor o projeto “Areião das Águas” encaminhado à Pró-reitora de Extensão da UFPR em 01/01/2017, com duração de quatro anos a partir de 01/05/2017. Esse programa de educação ambiental foi criado para atuar em âmbito multinível: superior e fundamental; sendo que, eventualmente, contempla o médio. Ao nível superior, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) foi aplicada tendo como tema a revitalização e renaturalização do rio Areiãozinho. Após análise inicial das condições atuais do rio com técnica de visitação do ambiente socioambiental, os participantes definiram alguns objetivos como será discutido. Algumas ações já foram realizadas e outras estão em fase de planejamento ou realização. Algumas conclusões já puderam ser observadas ao longo destes 10 meses de desenvolvimento.

2. EXECUÇÃO DO PROJETO DE EXTENSÃO “AREIÃO DAS ÁGUAS”

2.1. ABRANGÊNCIA DO PROJETO DE EXTENSÃO

O projeto de extensão foi aprovado pela Pró-reitora de Extensão e contemplado com algumas bolsas para os discentes da UFPR, que foram distribuídas de acordo com processo seletivo específico. O convite aos docentes e aos pesquisadores foi feito aleatoriamente com base em contatos pessoais espontâneos. Alguns destes também replicaram o convite a outros colaboradores, o que criou uma rede que contempla diversas áreas do conhecimento, como estatística, engenharia química, engenharia civil, química, enfermagem, saúde coletiva, ciências sociais, engenharia florestal, gestão ambiental e geografia. Do mesmo modo, os discentes da UFPR têm suas graduações ocorrendo em estatística, engenharia química, engenharia de bioprocessos e

biotecnologia, engenharia civil, engenharia florestal, engenharia ambiental, engenharia de produção, engenharia agrônômica e pedagogia, sendo que um discente era do IFET de Petróleo e Gás a nível médio, sendo que este ano foi admitido como discente de biologia da UFPR no último processo seletivo. Outros colaboradores da academia são graduados em pedagogia, matemática, engenharia civil e engenharia florestal.

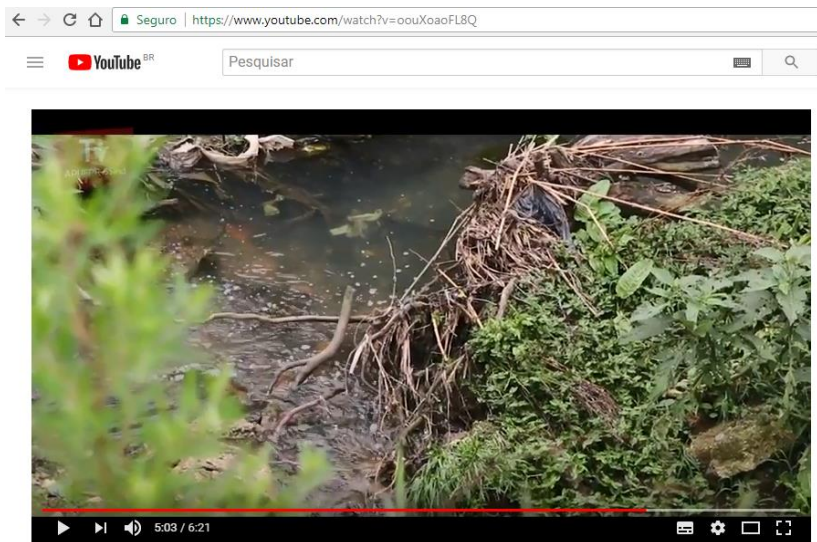
Nessa conjuntura, o projeto envolve diversos parceiros, sendo seis professores da UFPR (Departamento de Estatística, Departamento de Teoria e Prática de Ensino, Departamento de Saneamento e Hidráulica, Departamento de Ciências Florestais e Departamento de Saúde Coletiva, diversos institucionais e de empresas (Secretaria Municipal do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Curitiba, Departamento de Educação Ambiental Sustentável da PMC, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento da PMC, Escola Municipal João Macedo Filho, Comitê Gestor de Revitalização do Rio Iguazu, Unidade de Serviços de Recursos Hídricos da SANEPAR, Programa de Recuperação de Rios Urbanos da SANEPAR, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal de Educação, Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba e Grupo de Trabalho em Educação Ambiental do Ministério Público de Proteção ao Meio Ambiente) e 26 membros da comunidade do entorno do rio.

Ao fim de 2017, um vídeo produzido pela Associação dos Professores da UFPR (Figura 2) da série “Universidade Além dos Muros” divulgou do projeto por rede digital (APUFPR, 2017), sendo que também contou com a participação de alguns moradores do entorno.

Nesta oportunidade, houve a participação do discente de engenharia ambiental Gabriel Garcia Valente de Mel, Joacir Fernandes (morador do entorno), Paulo Afonso Bracarense Costa (Docente do Departamento de Estatística), Helena Ferreira Bracarense (Discente de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia), Alvaro Luiz Mathias (Docente do Departamento de Engenharia Química), Maria Emília Martins Ferreira (Técnica Administrativa do Laboratório Biofix da UFPR) e Paulo Roberto de Souza (morador do entorno), em ordem de aparecimento. Destaca-se que diversos professores tutores pertencem ao programa de pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

2.2. LOCAL DE ESTUDO

A bacia do rio Areiãozinho abrange os bairros Jardim das Américas e Uberaba (Figura 3). Iniciando na esquina da Rua Rodolpho Senf com Rua Cel. Joaquim Lacerda, nascente do rio Areiãozinho, nas vizinhanças do Centro Politécnico até a sua foz, na Rua Zulmira Bacila com a Rua Canal Belém. Ainda, vários membros do projeto têm continuamente participado das visitas de campo às margens do rio Areiãozinho que identificaram diversas peculiaridades como serão detalhados a seguir.



Projeto de preservação do Rio Areiãozinho integra comunidade acadêmica e moradores

Figura 2 - Rio Areiãozinho nas proximidades da Rua General Setembrino de Carvalho, 499.

Fonte: APUFPR, 2017

A bacia do rio Areiãozinho abrange os bairros Jardim das Américas e Uberaba (Figura 3). Iniciando na esquina da Rua Rodolpho Senf com Rua Cel. Joaquim Lacerda, nascente do rio Areiãozinho, nas vizinhanças do Centro Politécnico até a sua foz, na Rua Zulmira Bacila com a Rua Canal Belém. Ainda, vários membros do projeto têm continuamente participado das visitas de campo às margens do rio Areiãozinho que identificaram diversas peculiaridades como serão detalhados a seguir.

As visitas de campo e entrevistas aleatórias e informais com os moradores e passantes do entorno do rio, bem como imagens; por exemplo, a imagem do Google MapsTM da aérea da mesma região do vídeo (Figura 4) revelaram que há degradação em graus diferentes, com perda de matas ciliares com maiores ou menores intensidades. Também pode se ver construções muito próximas do curso do rio e canalizações em algumas partes. Também puderam ser identificadas diversas escolas públicas em seu entorno e que foram selecionadas como alvo da disseminação de sustentabilidade ambiental do rio Areiãozinho. Neste sentido, foi criado este projeto com o objetivo central de educação ambiental (Quadro 1, item 1) para discentes das escolas públicas que tivessem interesse desta ação.

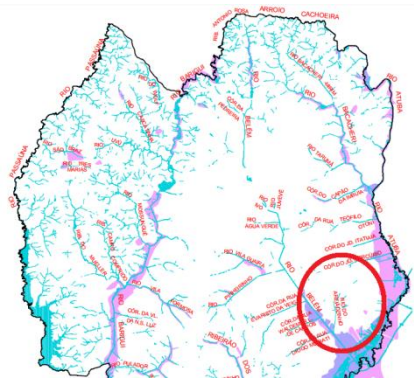
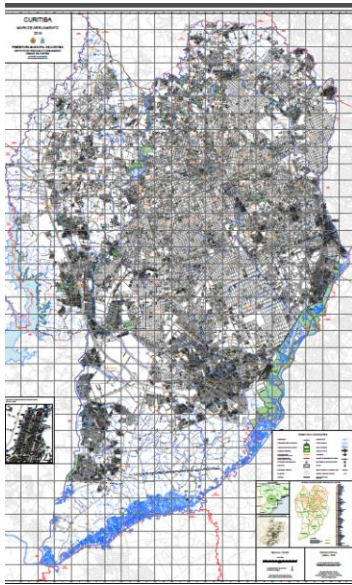


Figura 3 - Região de estudo: Mapa de arruamento com os bairros, 2018 (1:20.000) (esquerda) Áreas Inundáveis, 1983).(direita)- Círculo vermelho salienta o rio Areiãozinho
 Fonte: Adaptado de CURITIBA, 2018

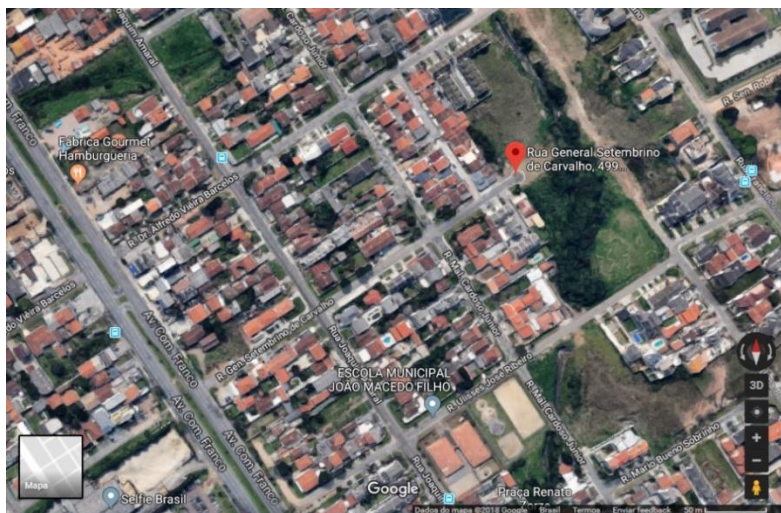


Figura 4 - Visão aérea do rio Areiãozinho.
 Fonte: GOOGLE MAPS, 2018

Quadro 1 – Ações de atuação dos membros da academia do projeto.

1) Educação socioambiental	
2) Caracterização da bacia	7) Fossas sépticas com tecnologia alternativa
3) Controle da Qualidade da Água	8) Saúde coletiva
4) Destinação de resíduos sólidos	9) Observação avifaunística
5) Inventário Florestal da mata ciliar	10) Construções sustentáveis
6) Urbanização e hortas comunitárias	11) Renaturalização do rio Areiãozinho

- 1) Preliminarmente ao processo de Educação Ambiental aos discentes do ensino fundamental, um Ciclo de Palestras de Ciências Ambientais para nivelamento de conhecimento dos discentes da UFPR foi criado (Figura 5). Para tal, palestras têm sido feita semanalmente com tema previamente especificadas, seguida de discussão do tema. Inicialmente começou com seminários dos professores coordenadores e passou a seguir com a participação dos discentes (Quadro 2), sendo que a atividade ainda continua.

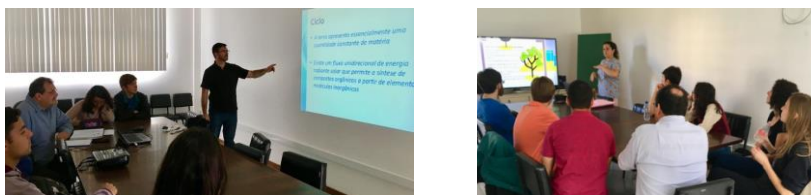


Figura 5 - Ciclo de Palestras com mesa de discussão de tema.

Fonte: Os autores, 2017

Quadro 2 – Ações de atuação dos membros da academia do projeto.

Prof. Alvaro Mathias	Departamento de Engenharia Química	Ciclos biogeoquímicos
Prof. Paulo Bracarense	Departamento de Estatística	Dinâmica da população
Gabriel Garcia V. de Melo	Engenharia. Ambiental	Bases do desenvolvimento sustentável
Helena Bracarense	Engenharia. Bioprocessos. e Biotecnologia	Energia e meio ambiente
Aline Guidolin	Engenharia Civil	Meio aquático
Victória Torres Rafael	Engenharia Civil	Meio terrestre
Luana Flores	Engenharia Química	Meio atmosférico
Jayme Gomes dos Santos Jr	Estatística	Economia e meio ambiente

Fonte: Os autores, 2017

- 2) Vários professores e alunos da UFPR são moradores dos bairros que contém a bacia do rio Areiãozinho devido a sua proximidade ao campus Centro Politécnica da UFPR. Isto tem facilitado o trabalho de campo devido à facilidade de conciliação entre atividades do estudo e de extensão. A visitação pelos participantes do programa aumentou a valorização dos aspectos de sustentabilidade, similar ao descrito anteriormente (HUTCHESON; HOAGLAND; JIN, 2018). Estudos de campo estão sendo organizados para caracterizar o ambiente socioeconômico e ambiental e que também envolverá mineração e análise de dados disponíveis em institutos parceiros e divulgados ao público. Uma caracterização física pormenorizada será feita quanto ao seu desague, curso d'água, padrão de drenagem, área, perímetro e comprimento, declividade, altitude média, tempo de concentração, coeficiente de compacidade, fator de forma, ordenamento dos cursos de água, densidade de drenagem, densidade de confluência, rugosidade, extensão média de escoamento superficial (Quadro 1, item 2).
- 3) Há perda significativa da vegetação ciliar do rio que pode facilitar o desbarrancamento das margens (APUFPR, 2017). Logicamente, esses materiais restringem o fluxo hídrico, os quais potencialmente podem provocar assoreamento, contenção de água e enchentes em regiões mais baixas (HEINRICH et al, 2015). Este quadro motivou a avaliação da evolução temporal da mata ciliar e a realização de um inventário florestal para se conhecer a verdadeira situação (Quadro 1, item 5), bem como o potencial de ação para estimar o estoque de carbono atual e futuro, após o plantio de árvores; principalmente de crescimento rápido. Neste caso, o potencial de captação de carbono também é objetivo deste projeto, sendo detalhado mais adiante.
- 4) A urbanização desordenada também tem produzido degradação do rio Areiãozinho pelo descarte de água residuária no rio (LARA, 2014). Foi identificado que uma distancia acima do normal ou o declive inadequado entre a fonte geradora e a disponibilização de rede de esgotamento da SANEPAR impediu a destinação adequada de agua residuária de algumas residências à rede. Nos contatos preliminares, um dos moradores conseguiu fazê-la, mesmo com gasto adicionais, decorrente da motivação sobre sustentabilidade. No entanto, o programa prevê uma intervenção sistemática e continuada. Assim, um estudo da viabilidade técnico-econômica de instalação de fossas sépticas será alvo do projeto com emprego de filosofia de engenharia sanitária clássica, baseado nas normas brasileiras (ABNT, 1993), e tecnologia social; ou seja, com emprego de materiais disponíveis a baixíssimo custo e com reaproveitamento de resíduo sólido urbano (Quadro

1, item 7). A qualidade da água do rio em sua extensão será monitorada utilizando o teor de oxigênio dissolvido (LARA, 2014), bem como outros índices de qualidade de água (DBO₅ = Demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, pH, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais) e de hidrometria (vazão, nível da água, índices pluviométricos). Pretende-se fazer monitoramentos em pontos pré-definidos antes e após a intervenção (Quadro 1, item 3). Espera-se que a melhoria do rio também contribuía com a melhoria da saúde da população local, principalmente na porção jusante, e que também será avaliada por discentes e tutores do Setor do Litoral que virão fazer estudo sistemático de saúde coletiva. Um olhar mais detalhado será dirigido ao mosquito *Aedes aegypti*, que é o mosquito transmissor da dengue e da febre amarela urbana (Quadro 1, item 8).

- 5) Relatos de moradores descreveram a presença de verdadeiros lixões a céu aberto em algumas regiões sem vegetação, principalmente resíduo da construção civil e mobiliário em desuso. No entanto, esses materiais foram removidos pela demanda da população local, os quais plantaram flores, árvores frutíferas para atração e acolhimento de aves e, mesmo, hortas melhorando a situação (Figura 6). No entanto, essa ação ficou restrita a pequenas áreas do rio. Assim, um estudo do passivo existente ao longo do rio e o planejamento de ações similares, aproveitando o conhecimento popular sustentável (SOUZA et al, 2015), ou utilizando outras técnicas de planejamento ambiental para destinação de resíduos sólidos serão realizados (Quadro 1, item 4). Concomitantemente, será estimulada a produção de hortas comunitárias para outros moradores do entorno, bem como urbanização paisagística; respeitando as peculiaridades locais (Quadro 1, item 6). Um método importante de interação com meio ambiente é o de observação de aves (Quadro 1, item 9) e será empregada para despertar a atenção aos alunos do ensino fundamental. Sempre que possível, as ações serão planejadas em nível de estudo científico e divulgadas junto à comunidade acadêmica também. Outra abordagem para estimular a sustentabilidade ambiental será feita com a implantação de conceitos de construção sustentável em uma das escolas públicas (Quadro 1, item 10), como o uso de água da chuva e o uso de energia termosolar para aquecimento de água.
- 6) O grupo também pretende atuar com outras ações proativas de sustentabilidade. Isto ocorreu recentemente na ação do Projeto de Extensão “Engenharia – Água & Ação”, coordenado pela Profa. Regina Kishi do Departamento de Saneamento e Hidráulica da UFPR, junto à Escola Municipal João Macedo Filho (Figura 7).



Figura 6 - Rio Areiãozinho nas proximidades da Rua General Setembrino de Carvalho, 499. Placa indicativa de proibição de deposição de lixo (esquerda) e horta comunitária (direita).

Fonte: Os autores, 2017



Figura 7 – Importância de Mata Ciliar, plantio de árvores e atividades de educação ambiental junto à comunidade local e discentes da Escola Municipal João Macedo Filho.

Fonte: Os autores, 2017

Assim, as crianças sensibilizadas (Figura 8) introduzem a cultura de sustentabilidade ambiental aos pais, sendo um multiplicador e que tende a produzir magnificação da ação de modo a mitigar o rio (Quadro 1, item 11)

2.3. APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

De modo similar ao descrito anteriormente (PAULIN; POÇAS, 2009), a metodologia de ABP tem se revelado altamente eficiente no desenvolvimento do programa pelos

discentes da UFPR. A discussão nas reuniões de ações a serem tomadas e no ciclo de Palestra mostra um evidente entusiasmo. Isto fica evidente quando se leva em conta que nem todos são bolsistas e que desenvolvem entre 8 a 12 horas de atividades referentes ao programa. Outro sinal é a contribuição com ideias novas e de desenvolvimento das atividades já estabelecidas. As atividades são desenvolvidas no entorno do rio, sendo que, algumas vezes, nos dias de finais de semana. Tem sido possível contato íntimo, algumas vezes individualizado, pelo grupo ser pequeno e acompanhar a evolução de um raciocínio crítico e de consolidação de conhecimento de ciências ambientais. Essa experiência reforça sua efetividade como modelo de aprendizado, respeitando as peculiaridades.



Figura 8 - Plantio de flores junto à comunidade local e discentes da Escola Municipal João Macedo Filho.

Fonte: Os autores, 2017

2.4. DIVULGAÇÃO DO PROJETO

O projeto foi divulgado no Encontro Presencial de Gestão de Projetos de Recursos Hídricos Municipais da Agência Nacional das Águas em Florianópolis (Figura 9, esquerda). Isto permitiu, junto a outras ações e discussões, evoluir o Mapa Estratégico do Programa a situação atual (Figura 9, direita). O projeto e seus resultados têm sido divulgados em diversos eventos, como a SIEPE 2017 – Semana Integrada de Ensino Pesquisa e Extensão da UFPR (Figura 10, esquerda) em Curitiba, 35° SEURS 2017- Seminário de Extensão Universitária da Região Sul (Figura 10, direita) em Foz do Iguaçu, Ciclo MAUI de Palestras de 2017 – Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial.



Prof. Paulo Afonso Bracarense Costa

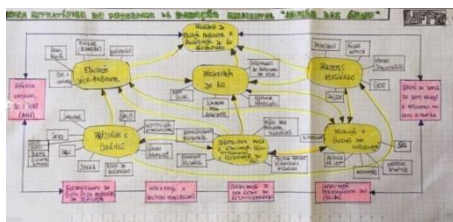


Figura 9 - Apresentação do projeto no Encontro Presencial de Gestão de Projetos de Recursos Hídricos Municipais da Agência Nacional das Águas em Florianópolis.

Fonte: Os autores, 2017



Prof. Paulo Afonso Bracarense Costa

Figura 10 - Apresentação de resultados e do projeto no SIEPE 2017 (direita) pelos discentes e SEURS 2017 (direita).

Fonte: Os autores, 2017

2.5. ATIVIDADES DE CAMPO CONSOLIDADAS

2.5.1. DINÂMICA TEMPORAL DO DESENVOLVIMENTO DA MATA CILIAR DO RIO AREIÃOZINHO

Foi avaliada entre 2004 e 2017 a dinâmica temporal de desenvolvimento da mata ciliar do rio Areiãozinho. Pode-se observar através de imagens obtidas pelo Google Earth

que houve uma grande recuperação entre os anos de 2004 a 2009 e que essa recuperação se deu sem intervenção humana, posto que se deu de forma natural. (Figura 11).



Figura 11 - Dinâmica temporal do desenvolvimento da mata ciliar do rio Areiãozinho.
Fonte: Os autores, 2017

2.5.2. INVENTÁRIO FLORESTAL NO RIO AREIAOZINHO

O inventário florestal da mata ciliar foi realizado em três idas ao campo entre os meses de maio e junho de 2017 e contou com a participação de três doutorandos do programa de pós-graduação do curso de Engenharia Florestal e colaboradores do Laboratório de Quantificação de Biomassa e Fixação de Carbono – BIOFIX, Deivison Venicio Souza, Myrcia Minatti e Vinicius Coutinho, discentes participantes do projeto,

Helena, Gabriel, Bruno, Luana, Aline e Victória, além do coordenador do projeto, prof. Dr. Paulo Bracarense. A metodologia foi ensinada aos participantes que foram acompanhados sob a tutela da Dra. Maria Emília Martins Ferreira (Técnica Administrativa do Laboratório Biofix da UFPR) e dos doutorandos Deivison e Vinicius (Figura 12). O inventário revelou a predominância de espécies nativas na mata ciliar. As espécies consideradas invasoras mais recorrentes foram a goiabeira e o alfeneiro. Destaca-se que foi encontrado um exemplar de *Pinus elliottii*, considerada espécie invasora. Das 468 espécies arbóreas inventariadas as espécies mais recorrentes foram, na ordem de maior abundância para menor, cássia multijuga, aroeira-vermelha, goiabeira, alfeneiro e canela-guaicá.



Figura 12 – Grupo de trabalho e ações do levantamento do inventário florestal.

Fonte: Os autores, 2017

Em projetos que visam o mercado de carbono, o cálculo do estoque de carbono é expresso em carbono equivalente, ou seja, a quantidade de CO₂ absorvido. Assim, estimou-se um valor de 67,19 t de CO₂ absorvido na área inventariada, ou seja, 115,84 t.ha⁻¹ de CO₂ absorvido.

3. PERSPECTIVAS FUTURAS

Atualmente, o Mapa Estratégico deste programa de extensão evoluiu para diversas ações complementares (Figura 13) devido as peculiaridades das pessoas envolvidas e parcerias consolidadas ou em consolidação. No entanto, o foco principal foi mantido, educação ambiental para estudantes das escolas públicas pertencentes à Bacia, como o Colégio Estadual Prof. Júlio Mesquita, Escola Municipal João Macedo Filho, CMEI- Jardim das Américas, Colégio Estadual Máximo Atilio Asinelli, Escola Municipal Dr. Guilherme Lacerda Braga Sobrinho, Colégio Conexão Curitiba e Escola Estadual Prof. Elyσιο Vianna.

Assim, há a necessidade de produzir material de apoio (didático e de divulgação) para atuar junto às escolas e a comunidade no subprojeto de educação ambiental. Outras mídias estão sendo também utilizadas nesse processo, como Facebook (<https://www.facebook.com/areiaodasaguas/>). Neles há ações realizadas e conteúdos sobre ações e projetos de sustentabilidade ambiental.

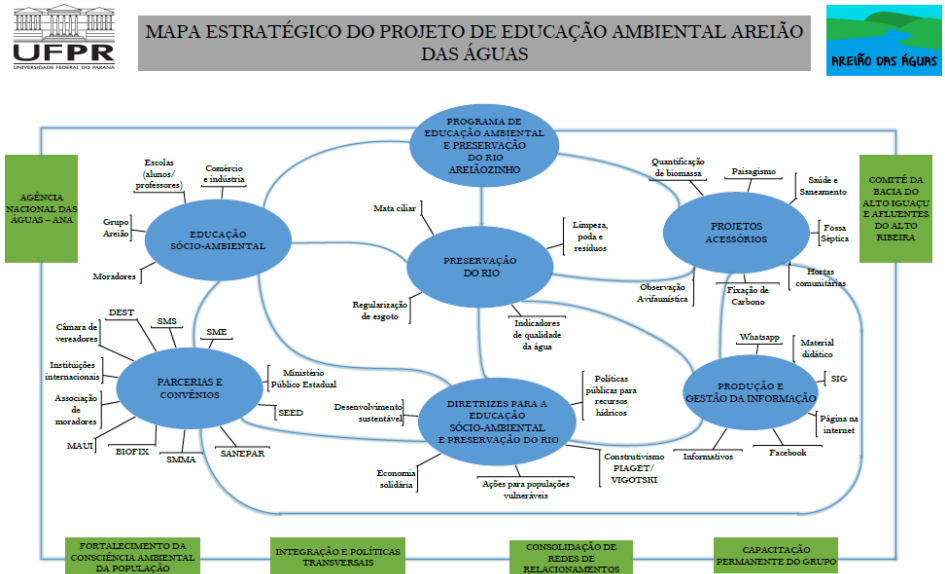


Figura 13 - Mapa estratégico do projeto de extensão “Areião das Águas”.

Fonte: Os autores, 2017

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocupação urbana degradou severamente as margens ciliares e os recursos hídricos de seus rios, sendo que essas áreas chegam a ser indesejadas pela população com maior poder aquisitivo. Suas recuperações são dificultadas pela complexidade da administração pública, podendo até envolver conflito com os moradores do entorno e que, muitas vezes, precisam ser removidos. Assim, a educação ambiental pode ser uma alternativa menos traumática e gradativa, embora tenha sido considerada secundária.

A educação ambiental do projeto de extensão da UFPR foi baseada num tema real, do entorno da instituição estar na proximidade das residências de alguns componentes, profissionais e discentes desta instituição a participar. A característica multidisciplinar atraiu profissionais e acadêmicos de diversas áreas do saber. Além disso, o tema, rio Areiãozinho, o que facilitou os estudos de campo e de entrevista com os moradores do entorno.

Os discentes tinham percepções e conhecimento distintos sobre ciências ambientais, sendo que um Ciclo de Palestras semanais se revelou altamente eficiente na motivação e troca de conhecimento de modo que formou uma visão bastante completa de ciências ambientais, com especial atenção sobre corpos hídricos. Os estudos de campo e as entrevistas revelaram alguns temas de estudo: educação socioambiental, caracterização da bacia, controle da Qualidade da água, destinação de resíduos sólidos, inventário florestal da mata ciliar, urbanização e hortas comunitárias, fossas sépticas com tecnologia simplificada, saúde coletiva, observação avifaunística, construções sustentáveis e renaturalização do rio. A abordagem destes temas tem sido tratada de modo a unir o saber popular e o acadêmico; evitando conflitos e o despertar de ações incisivas da governança. Ela tem como viés principal a educação ambiental, que no caso dos discentes da UFPR é baseada na Aprendizagem Baseada em Problemas, a qual demonstrou uma alta eficiência de estímulo positivo. Também inclui a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico. A maior dificuldade tem sido a concretização das parcerias institucionais e obtenção de recurso para uso em campo, uma vez que diversas bolsas têm sido usufruídas pelos discentes participantes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NRB 7229: *Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Rio de Janeiro, 1993.

CURITIBA. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. *Áreas Inundáveis*. Curitiba: IPPUC, 1983, 2018



ASSOCIAÇÃO DOS PROFESSORES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (APUFPR). Universidade Além dos Muros. *Projeto de preservação do Rio Areiãozinho integra comunidade acadêmica e moradores*. Youtube^{BR}. Publicado em 3 de nov de 2017. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=ouoXoaoFL8Q>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

BERBEL, N. A. N. Active methodologies and the nurturing of students' autonomy. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, Londrina, v. 32, n. 1, p. 25-40, jan./jun. 2011.

BRACHT, C. C. *Os instrumentos Jurídicos e Programas de Gestão dos Recursos Hídricos e seus Reflexos na Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica do Rio Belém*. 218 p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana – PPGTU, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba (PR). 2008.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. *Lei nº 9.394*, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: < http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394_ldbn1.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2018.

BZUNECK, J. A.; GUIMARÃES, S. É. R. Estilos de professores na promoção da motivação intrínseca: reformulação e validação de instrumento. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, v. 23, p. 415-422, 2007.

FERREIRA, R. C., LOPES, W. G. R.; ARAÚJO, J. L. L. A água como suporte para atividades de lazer e turismo: possibilidades e limitações da barragem Piracuruca no estado do Piauí (Brasil). *Revista Ra'e Ga - Espaço Geográfico em Análise*, v. 25, p. 134 - 163, 2012.

HEINRICH, A. B.; METZGER, J. W.; FISCHER, K. M.; MATHIAS, A. L. Gerenciamento de sedimentos do desassoreamento do rio Belém na área urbana de Curitiba: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 626-636, 2015.

HUTCHESON, W.; HOAGLAND, P.; JIN, D. Valuing environmental education as a cultural ecosystem service at Hudson River Park. *Ecosystem Services*, v. x, p. xxx-xxx, 2018 (*in press*).

KIBEL. P. S (Org.) *Rivertown. Rethinking urban rivers*. Massachusetts: The MIT Press, Cambridge, 2007.

LARA, M. V. R. *Análise crítica de programas de revitalização de rios urbanos na bacia hidrográfica do rio Belém em Curitiba-PR*. 150 p. Dissertação apresentada ao Meio Ambiente Urbano e Industrial, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba (PR). 2014.

PAULIN, L. F. R. S.; POÇAS, R. C. G. A experiência da Universidade São Francisco com o internato médico de psiquiatria utilizando a metodologia da aprendizagem baseada em problemas. *Revista de Psiquiatria*, v. 31, n. 1, p. 67-72. 2009.

SILVA NETO, J. C.A. Indicação para o uso da terra na bacia hidrográfica do rio Salobra –Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul. *RESR*, Piracicaba, v. 25, p. 279-304, 2012.

SILVA-SÁNCHEZ, S.; JACOBI, P. R. Políticas de recuperação de rios urbanos na cidade de São Paulo: possibilidades e desafios. *R. B. Estudos Urbanos e Regionais*, v. 14, n. 2, p.119 – 132, 2012.

SOLA; B. *A dinâmica do aprender e do ensinar na educação a distância* Juiz de Fora: Biblioteca Virtual do NEAD/UFJF. 81p. Disponível em: < http://www.cead.ufjf.br/wp-content/uploads/2015/05/media_biblioteca_dinamica_aprender.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2018.

SOUZA, I. P.; YAMAMOTO, C. I.; TAKESHITA, E.; MATHIAS, A. L. Geração de renda para o desenvolvimento sustentável em comunidades tradicionais da região amazônica. *Revista Ra'e Ga - Espaço Geográfico em Análise*, v. 33, p. 248 - 276, 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão. *Resolução N° 72/11-CEPE*, de 11 de novembro de 2011. Dispõe sobre as Atividades de Extensão na Universidade Federal do Paraná. (alterada pela Resolução 70/12 de 20 de dezembro de 2012). Disponível em: < <http://www.agrarias.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2014/12/Reolu%C3%A7%C3%A3o-de-Atividades-de-Extens%C3%A3o-CEPE-72-de-2011.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR). Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão. *Resolução N° 70/12-CEPE*, de 20 de dezembro de 2012. Dispõe sobre as Atividades de Extensão na Universidade Federal do Paraná. Disponível em: < <http://www.agrarias.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2014/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-de-Atividades-de-Extens%C3%A3o-CEPE-70-de-2012-que-modifica-a-72-de-2011.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

MERCADO DE BENS E SERVIÇOS AMBIENTAIS E A
APLICAÇÃO DE PROGRAMAS COLABORATIVOS
PARA QUALIFICAÇÃO.

PATRICIA ACCIOLY CALDERARI DA ROSA
MARIELLE FEILSTRECKER



MERCADO DE BENS E SERVIÇOS AMBIENTAIS E A APLICAÇÃO DE PROGRAMAS COLABORATIVOS PARA QUALIFICAÇÃO

A qualificação de fornecedores consiste no processo de cadastro, análise, verificação e aprovação, de forma a evidenciar se as empresas possuem capacidade técnica e de gestão para oferecer produtos e serviços conforme as especificações do cliente. Este processo também é aplicado para prestadores de serviços ambientais, contratados para executar serviços como o tratamento e disposição de resíduos e efluentes industriais, transporte de resíduos, controle de emissões atmosféricas, análises laboratoriais de parâmetros ambientais e toxicológicos, entre outros.

Os critérios que as empresas utilizam para qualificar os prestadores de serviços ambientais são semelhantes e transcorrem pela verificação dos requisitos legais, análise da infraestrutura, capacidade de atendimento, gestão dos aspectos ambientais e sociais. Ou seja, independentemente da empresa que estiver avaliando, os critérios aplicados serão similares

Com isso, há oportunidade de as empresas trabalharem em conjunto para estabelecerem um processo único de qualificação, que permita o compartilhamento de informações e resultados na definição dos fornecedores aptos.

Neste trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico sobre programas colaborativos de gestão de sustentabilidade de fornecedores, em termos mundiais, para avaliar as principais informações sobre a constituição dos programas, formas de organização, metodologias utilizadas e quais processos são integrados para atender as empresas membro.

A partir desse levantamento, foram identificadas necessidades específicas ao setor de serviços ambientais e avaliou-se a oportunidade de constituir iniciativas similares no mercado brasileiro.

1. CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO DE BENS E SERVIÇOS AMBIENTAIS

Nos últimos anos a expansão do mercado de tecnologias ambientais provocou a consolidação no setor, dentro e fora do Brasil. Este setor tem recebido crescente atenção do setor produtivo, estimulando a demanda e a geração de novas oportunidades, tecnologias e inovações (ABDI, 2012).

O termo internacionalmente utilizado para nomear o segmento de prestadores de serviços ambientais é *Environmental, Goods and Services* (EGSs) ou *Environmental, Goods and Services Sector* (EGSS) (ABDI, 2012; EUROSTAT, 2009).

A necessidade de desenvolver sistemas de contas econômicas e ambientais integradas entre todos os países foi mencionada pela primeira vez na Agenda 21, que é o documento aprovado em 1992 na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e, posteriormente, no documento final da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável - Rio +20, realizada em 2012 (SEEA, 2013). Tal iniciativa resultou em um esforço em nível mundial para estabelecer as definições sobre EGSS e a classificação das atividades contempladas neste segmento, com o objetivo de viabilizar a identificação destas atividades, regular o comércio internacional de tais serviços e produtos, bem como, gerar estatísticas baseadas em dados que utilizam parâmetros comuns e permitam a comparabilidade entre os dados reportados pelos países (ABDI, 2012).

As principais instituições que elaboraram as definições sobre EGSS são: Organização Mundial do Comércio (OMC), Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), entre outras (ABDI, 2012; ITC, 2014).

Um consenso ainda não foi estabelecido no âmbito da OMC, pois os critérios e escopos utilizados no conceito de “indústria ambiental” variam muito entre os países membros. Por esse motivo, a mensuração das possibilidades de crescimento dos mercados associados deve ser realizada com cautela, explicitando o referencial conceitual utilizado (ABDI, 2012).

Os países da OCDE, em conjunto com a Eurostat, lideraram as discussões e apresentaram uma primeira definição para o EGSS (ABDI, 2012; ITC, 2014), que considera:

“atividades que produzem bens e serviços que medem, previnem, limitam, minimizam ou corrigem danos ambientais à água, ar e solo, bem como os problemas relacionados ao lixo, barulho e ecossistemas. Isto inclui tecnologias limpas, produtos e serviços que reduzem o risco ambiental, a poluição e o uso de recursos ambientais” (OCDE, EUROSTAT, 1999, p.9).

O Sistema de Contas Econômicas Ambientais 2012: Marco Central (SCEA ou SEEA - *System of integrated Environmental and Economic Accounting*) foi o primeiro padrão estatístico internacional de contabilidade ambiental e econômica, adotado pela Comissão de Estatística das Nações Unidas. É um quadro conceitual que permite compreender as interações entre a economia e o meio ambiente, além de descrever os estoques e variações nos estoques de ativos ambientais. Ainda, de acordo com SEEA (2013):

“o escopo das atividades ambientais inclui aquelas atividades econômicas cujo objetivo principal é reduzir ou eliminar as pressões sobre o meio ambiente ou usar de modo mais eficiente os recursos naturais. Exemplos dessas atividades são a restauração de ambientes poluídos, a conservação e a gestão de recursos e o investimento em tecnologias destinadas a evitar ou reduzir a poluição.”

As atividades ambientais estão divididas em dois grupos principais (EUROSTAT, 2009; SEEA, 2013):

- Proteção ambiental (Environmental Protection - EP): relacionadas à prevenção, redução e eliminação da poluição e outras formas de degradação do meio ambiente. Inclui redução, prevenção ou tratamento de resíduos, águas residuais e emissões atmosféricas; monitoramento da qualidade dos meios ambientais; entre outros.
- Gerenciamento de Recursos (Resource management - RM): relacionadas à preservação, manutenção e melhoria dos estoques de recursos naturais. Compreende tecnologias e produtos de restauração, monitoramento e controle dos níveis de utilização dos recursos naturais.

As classificações para designar as atividades e categorias de bens e produtos ambientais propostas pela EUROSTAT (2009) e SEEA (2013) são similares, diferenciando-se na descrição dos itens de gerenciamento de recursos, conforme o Quadro 1.

Considera-se que em ambos os grupos estão incluídas as atividades administrativas, de educação, treinamento, informação e atividades de comunicação (EUROSTAT, 2009).

Para fins estatísticos, apenas tecnologias, bens e serviços que tenham sido produzidos com a finalidade ambiental são incluídos no escopo. Atividades relacionadas a riscos naturais, principalmente para prevenir ou reduzir o impacto de desastres naturais na saúde humana, não estão incluídos no EGSS (EUROSTAT, 2016).

Os países tendem a usar diferentes categorias para coletar estatísticas relativas a bens e serviços ambientais e, nota-se que, devido ao desacordo sobre as classificações, mesmo entre os países da União Europeia os dados não são estritamente comparáveis (ITC, 2014). No entanto, independentemente das listas ou classificações adotadas, observa-se o crescimento acelerado do mercado. Em 2011 o mercado de bens e serviços ambientais foi estimado em US\$ 866 bilhões, de acordo com a *Environmental Business International* (EBI), com expectativa que atinja US\$ 1,9 trilhão até 2020 (MACLEAN, JAGANNATHAN, PANTH, 2018).

Dentre os principais fatores que impulsionam o crescimento de demanda para esse mercado destacam-se a adoção de regulamentações relativas ao meio ambiente e os

incentivos fiscais para utilização de produtos ambientais. Outro fator é o nível de educação da população e de informação do consumidor (ABDI, 2012).

Quadro 1: Classificação de bens e serviços ambientais

EUROSTAT, 2009	SEEA, 2013
<p>Proteção ambiental</p> <p>1: Proteção do ar e do clima</p> <p>2: Gestão de águas residuais</p> <p>3: Gestão de resíduos</p> <p>4: Proteção e remediação do solo, águas subterrâneas e águas superficiais</p> <p>5: Redução de ruído e vibração</p> <p>6: Proteção da biodiversidade e paisagem</p> <p>7: Proteção contra radiação</p> <p>8: Pesquisa e desenvolvimento</p> <p>9: Outras atividades de proteção ambiental</p>	<p>Proteção ambiental</p> <p>1: Proteção do ar e do clima</p> <p>2: Gestão de águas residuais</p> <p>3: Gestão de resíduos</p> <p>4: Proteção e remediação do solo, águas subterrâneas e águas superficiais</p> <p>5: Redução de ruído e vibração</p> <p>6: Proteção da biodiversidade e paisagem</p> <p>7: Proteção contra radiação</p> <p>8: Pesquisa e desenvolvimento</p> <p>9: Outras atividades de proteção ambiental</p>
<p>Gerenciamento de Recursos</p> <p>10: Gestão das águas</p> <p>11: Gestão de recursos florestais</p> <p>12: Gestão da flora e fauna selvagens</p> <p>13: Gestão de recursos energéticos</p> <p>14: Gestão de minerais</p> <p>15: Pesquisa e desenvolvimento</p> <p>16: Outras atividades gestão recursos naturais</p>	<p>Gerenciamento de Recursos</p> <p>10: Gestão recursos minerais e energéticos</p> <p>11: Gestão de recursos madeireiros</p> <p>12: Gestão de recursos aquáticos</p> <p>13: Gestão outros recursos biológicos</p> <p>14: Gestão de recursos hídricos</p> <p>15: Pesquisa e desenvolvimento</p> <p>16: Outras atividades de gestão de recursos.</p>

Fonte: Adaptado de EUROSTAT, 2009; SEEA, 2013

A importância conferida aos produtos ambientais depende do estágio de desenvolvimento do país ou das pressões ambientais que ele enfrenta. Enquanto os países desenvolvidos priorizam a eficiência energética, a energia renovável e a redução das emissões de CO₂, os países em desenvolvimento priorizam investimentos infraestrutura, gestão de resíduos e águas residuais (ITC, 2014).

A estrutura de mercado da indústria de bens e serviços ambientais caracteriza-se pela presença de médias empresas ou multinacionais que dominam o setor de gestão de resíduos e de água, inclusive em países em desenvolvimento (ITC, 2014).

A tendência é que estes mesmos setores tradicionais se mantenham como os mais demandados, de acordo com a Figura 1 que apresenta a estimativa até 2020 (ABDI, 2012).

De acordo com o ITC (2014), os setores de maior crescimento previsto são os novos mercados vinculados a energias renováveis, eficiência energética e tecnologias

limpas. Segmentos mais maduros, de água e gestão de resíduos, juntamente com a redução da poluição atmosférica e do solo devem crescer mais lentamente, mas mesmo esses setores continuarão a se beneficiar do crescimento dos países emergentes e de políticas destinadas a melhorar estes serviços nos países desenvolvidos.

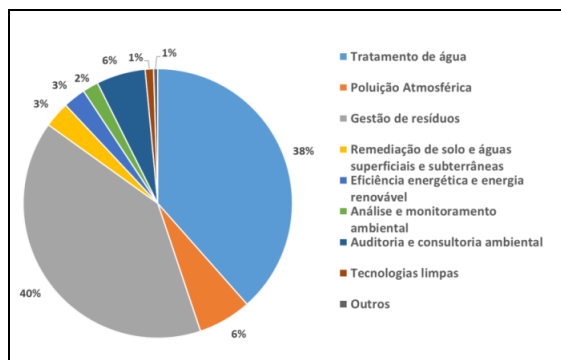


Figura 1: Distribuição do mercado ambiental por segmento, estimativa até 2020

Fonte: Adaptado de *Global Environment Markets and the UK environmental Industry Opportunities to 2020*, JEMU, 2005, *apud* ABDI; 2012.

No Brasil os segmentos mais relevantes são os de abastecimento e tratamento de água, gestão de resíduos e controle da poluição atmosférica, mostrando-se também emergente a remediação de solos contaminados (ABDI, 2012).

De acordo com o BMU (2018), a indústria de tecnologia ambiental e eficiência de recursos é liderada pelos seguintes seis mercados: Geração, armazenamento e distribuição de energia ambientalmente corretos; Eficiência energética; Eficiência material; Mobilidade sustentável; Gerenciamento de resíduos e reciclagem; Gestão sustentável da água.

A estimativa é que o volume do mercado global para estes seis principais segmentos alcance os cinco trilhões de euros em 2025, o equivalente a um crescimento anual médio de 6,9%¹ no período de 2016 a 2025 (BMU, 2018), conforme projeção apresentada na Figura 2.

Para entender a dinâmica dos negócios, o Quadro 2 aponta os principais países exportadores e importadores de tecnologias ambientais. Para consolidar as informações de comércio internacional as autoras utilizaram o banco de dados do *Comtrade* das Nações Unidas.

¹ Média ponderada das taxas médias anuais de crescimento nos principais mercados individuais.



Figura 2: Desenvolvimento do volume de mercado global para tecnologia ambiental e eficiência de recursos, 2016 a 2025

Fonte: Roland Berger, 2017, apud BMU, 2018.

Quadro 2: *Ranking* e participação dos dez maiores exportadores e importadores de tecnologias ambientais, segundo lista OCDE.

Dez maiores exportadores			Dez maiores importadores		
Ranking	Valor (US\$ bilhões)	Participação (%)	Ranking	Valor (US\$ bilhões)	Participação (%)
Alemanha	125,270	16,27	EUA	102,334	13,54
China	96,991	12,60	China	75,894	10,05
EUA	93,989	12,21	Alemanha	57,567	7,62
Japão	54,803	7,12	Japão	30,172	3,99
Itália	39,684	5,15	França	27,295	3,61
França	27,427	3,56	Coreia do Sul	27,123	3,59
Coreia do Sul	26,611	3,46	México	27,106	3,59
Reino Unido	25,735	3,34	Reino Unido	27,070	3,58
Holanda	21,339	2,77	Canadá	24,779	3,28
México	18,986	2,47	Rússia	22,780	3,02

Fonte: Nascimento, Almeida, 2016.

Segundo Nascimento e Almeida (2016) o comércio de bens ambientais concentra-se em países desenvolvidos, embora países em desenvolvimento, como Brasil, China, Índia e México estejam despontando como exportadores e importadores de bens e serviços ambientais. Também se deve registrar a crescente participação da China, que para diversificar sua matriz energética e reduzir a dependência de fontes de origem fóssil (carvão e petróleo) desenvolveu tecnologias para a obtenção de energia renovável, passando a ser o país líder em investimentos na produção de células fotovoltaicas (energia solar) e turbinas eólicas, ultrapassando os EUA e Japão, que são pioneiros no desenvolvimento dessas tecnologias.

De acordo com o ITC (2014) os países da Europa, China, Estados Unidos e Japão são os principais exportadores mundiais. Algumas economias emergentes, especialmente no leste da Ásia e entre os BRICS, são importantes mercados de exportação e importação. O Brasil encontra-se dentre os elementos globais significativos.

A Agenda 2030 da ONU trata do plano elaborado por líderes mundiais no qual os países compartilham a responsabilidade pelo bem comum global e comprometem-se com os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que transcorrem pela dimensão social, ambiental e econômica (BMU, 2018). Muitos desses objetivos podem ser alcançados por meio de produtos, processos e serviços da indústria de tecnologia verde, como água potável e saneamento (ODS 6), energia acessível e limpa (ODS 7), cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11), consumo e produção sustentáveis (ODS 12), ação contra a mudança global do clima (ODS 13), vida marinha (ODS 14) e vida terrestre (ODS 15) (BMU, 2018).

O ODS 9 – Indústria, inovação e infraestrutura – tem como uma de suas metas modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados até 2030 (ONU BR, 2018a).

O cenário do mercado brasileiro, conforme o documento ONU BR (2018a) foi de significativa recessão no país até o início de 2017. Os reflexos incidiram na indústria, onde o PIB industrial sofreu seguidas reduções entre 2014 e 2016, gerando queda na demanda e conseqüente redução na capacidade de incorporar novas tecnologias e processos produtivos mais limpos no longo prazo. Da mesma maneira incidiram na esfera governamental, onde a redução da arrecadação limitou a capacidade de investimento em áreas essenciais como energia, água e saneamento.

O ODS 12 - Consumo e produção sustentáveis - tem a capacidade de viabilizar o alcance de muitos dos demais ODS de forma integrada e abrangente, pois possui atuação nas mudanças dos padrões de produção e consumo. Isto implica em práticas de produção mais limpas e eficientes, treinamento, inovação e mudança tecnológica de toda a cadeia de valor dos produtos e serviços, bem como a mudança no comportamento e

nas escolhas dos consumidores e nas estratégias de compras do setor público (ONU BR, 2018b).

O Plano de Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS) do Brasil, lançado em 2011 pelo Ministério do Meio Ambiente em parceria organizações diversas, entrou no segundo ciclo de 2016-2020. O objetivo principal é fomentar as mudanças do atual paradigma de produção e consumo e possui dentre os eixos temáticos as compras públicas sustentáveis, indústria sustentável e gestão de resíduos sólidos (ONU BR, 2018b).

O Brasil tem investido no avanço da produção e do consumo sustentáveis no país, principalmente por meio de ações voltadas a compras públicas, projetos de fomento e políticas públicas. Porém, ainda há um gargalo na gestão responsável dos recursos naturais, da promoção de padrões de produção e consumo consciente considerando-se as demandas da população crescente (ONU BR, 2018b).

2. SELEÇÃO E QUALIFICAÇÃO DE PRESTADORES DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

Conforme Teixeira (2015, p.23) o objetivo principal do processo de seleção de fornecedores é reduzir o risco que envolve o processo de compra, maximizar o valor global para o comprador e desenvolver proximidade e relacionamentos de longo prazo entre os envolvidos nas negociações.

As empresas deixaram de aplicar a abordagem tradicional em seus processos de seleção, que considerava apenas qualidade, entrega, custo e serviço, e passaram a adotar um enfoque mais eficiente e complexo, que envolve critérios ambientais, sociais, políticos e preocupações com a satisfação de clientes (PAL, GUPTA, GARK, 2013).

Para Moura (2009) a qualificação é a avaliação de conformidade dos potenciais fornecedores, realizadas por meio de auditorias, para verificar o atendimento a requisitos estabelecidos. A empresa que realiza a qualificação tem como objetivo assegurar a contratação de parceiros capacitados, que atendem as condições estabelecidas e as necessidades da empresa.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 14001: 2015, Sistema de Gestão Ambiental, auditoria é o “processo sistemático, independente e documentado, para obter evidências de auditoria e avaliá-la objetivamente, para determinar a extensão na qual os critérios de auditoria são atendidos”.

O programa de avaliação de conformidade, visando a certificação de fornecedores, possui o momento inicial de verificação materializado pelas auditorias e é seguido por um conjunto de ações de acompanhamento e controle, para que a empresa

possa se assegurar de que o produto ou serviço está efetivamente em conformidade com os critérios para eles estabelecidos (MOURA, 2009).

De acordo com a ABNT NBR ISO 20400: 2017 - Compras Sustentáveis, os requisitos de sustentabilidade devem ser verificados por meio de procedimento de avaliação, tais como: análise crítica de documentação, ensaios, inspeções, auditorias, certificação, sistemas de gestão, declarações de sustentabilidade e rótulos. Tais avaliações podem ser realizadas pelo fornecedor ou seu representante (primeira parte), pela organização compradora ou um organismo externo em seu nome (segunda parte) ou um organismo ou organização externa independente (terceira parte) (NBR, 2017).

Existem organizações especializadas em avaliação e auditoria de fornecedores de serviços ambientais, como a CHWMEG, dos Estados Unidos, e o programa *Waste Facilities Audit Association* (WFAA, 2018), do Reino Unido. Há também organizações que emitem selos e certificações, como as especializadas em resíduos de equipamentos eletrônicos e elétricos (WEE): R2 Standard, dos Estados Unidos (SERI, 2018); WEEELABEX, da Europa (WEEELABEX, 2018). Além dos mencionados programas há, ainda, programas promovidos por Associações de classe, como a qualificação de prestadores de serviços ambientais da Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABRE, 2018).

3. INICIATIVAS COLABORATIVAS

Segundo Moura (2009), no setor privado algumas empresas estão se organizando, via associações ou instituições privadas, para desenvolver processos conjuntos de qualificação de fornecedores. Desta forma evita-se a realização de auditorias e avaliações múltiplas, reduzindo o custo e a quantidade de horas dispendidas pelos colaboradores para o exercício desta atividade. Além disso, espera-se reduzir riscos em relação aos requisitos de sustentabilidade e construir uma base de dados com parceiros de alta qualidade, possibilitando melhorar o desempenho dos fornecedores. Há iniciativas que além do processo de qualificação, concedem certificação ao produto ou à empresa (MOURA, 2009).

De acordo com estudo da Ecosense (2017), nos últimos quinze anos houve aumento das iniciativas setoriais e ações integradas entre indústrias para o estabelecimento de padrões, instrumentos e posicionamento em assuntos públicos comuns entre as empresas, realização de treinamentos, monitoramentos e auditorias colaborativas.

As iniciativas têm como principais benefícios a redução de auditorias e avaliações múltiplas, a melhoria e garantia da qualidade dos resultados, o compartilhamento de

experiências entre várias empresas, a melhoria da qualidade dos parceiros selecionados e qualificados e a redução dos riscos associados aos critérios estabelecidos (TFS, 2018).

Dentre as iniciativas brasileiras voltadas para avaliar prestadores de serviços foi identificado o Programa Integrado de Desenvolvimento e Qualificação de Fornecedores - PRODFOR. Trata-se de uma iniciativa local do Espírito Santo, no qual grandes empresas da região se uniram para promover a capacitação e certificação de fornecedores locais, de produtos e serviços de segmentos diversos (PRODFOR, 2018).

De acordo com o estudo realizado sobre os resultados do Prodfor, a replicação para outros programas de certificação similares pode ser beneficiada pelo seguinte contexto (AQUINO, MENEGUETTE, PAGLIARUSSI, 2012):

- i. compradores concentrados na mesma área geográfica;
- ii. necessidades similares de fornecimento desses compradores;
- iii. concentração de fornecedores com relativo grau de desenvolvimento instalados nas proximidades;
- iv. reputação da entidade certificadora e experiência anterior positiva no fortalecimento de parceria com fornecedores.

4. METODOLOGIA ADOTADA NESTE ESTUDO

Foi realizado levantamento das iniciativas colaborativas entre empresas para gestão sustentável das cadeias de suprimentos, em nível mundial, resultando o total de 17 programas identificados. A análise de cada um destes programas foi realizada por meio de pesquisa nos sites institucionais dos mesmos, com o objetivo de levantar informações quanto à constituição dos programas, formas de organização, métodos utilizados para qualificação e quais processos são integrados e compartilhados entre empresas. A compilação destas informações possibilitou mapear as práticas que são similares e que poderiam ser aplicadas na constituição de uma iniciativa de qualificação de prestadores de serviços ambientais.

Por fim, houve aprofundamento nas iniciativas que avaliam especificamente o segmento ambiental e nas particularidades do mercado brasileiro que podem contribuir para implantação de iniciativas colaborativas para qualificação de prestadores de serviços ambientais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. INICIATIVAS COLABORATIVAS PARA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE FORNECEDORES

Foram identificadas as seguintes 17 iniciativas colaborativas estabelecidas no mercado, em nível mundial, para gestão compartilhada de fornecedores segundo preceitos de sustentabilidade: *Abvtex* (BR), *AIM-Progress* (UE/EUA), *AMfori BEPI* (BE), *AMfori BSCI* (BE), *Bettercoal* (UK), *Chwmeg* (EUA), *Drive Sustainability* (UE), *Ethical Trading Initiative* (UK), *Joint Audit Cooperation – JAC* (UE), *Pharmaceutical Supply Chain Initiative – PSCI* (EUA), *Prodfor* (BR), *Responsible Care* (EUA), *Responsible Beauty Initiative* (não informado), *Railsponsible* (NL), *Responsible Business Alliance – RBA* (EUA), *Together for sustainability – TFS* (BEL), *Waste Facilities Audit Association – WFAA* (UK).

A partir da análise destas iniciativas foi possível identificar as práticas adotadas em termos de escopo, ferramentas, materiais, formas de organização das instituições e demais ações que possibilitam avaliar quais são os elementos necessários na estruturação de programas semelhantes para qualificação de prestadores de serviços ambientais.

De maneira geral há grande similaridade entre as iniciativas, tanto nos modelos de gestão como nas práticas. A maioria delas, 65%, são organizadas via associações setoriais ou por organizações constituídas por empresas de renome no mercado, o que às concede importância e legitimidade. Também há aquelas que se organizaram independentemente e constituíram organização própria, com pessoa jurídica, infraestrutura e colaboradores, ou, ainda, estabelecidas através de conselhos e grupos de trabalho, nos quais são definidas as responsabilidades e atribuições entre os representantes das empresas.

O código de conduta, termo de compromisso ou documento equivalente que estabelece os princípios comuns entre as empresas, é adotado por 76% das iniciativas. O objetivo é obter transparência no processo ao informar os princípios do programa e identificar quais são as expectativas e exigências das empresas para com seus fornecedores.

Esta metodologia também é importante para comunicar seus parceiros quanto à estrutura e funcionamento do programa, principalmente quanto ao compartilhamento de informações e resultados de avaliações.

Com relação aos instrumentos para avaliação de fornecedores, algumas iniciativas mencionam a utilização de autoavaliações e a grande maioria aplica auditorias. Estes são os dois mecanismos mais utilizados pelo mercado para verificar a situação do fornecedor, mesmo retratando a situação do momento no qual eles foram aplicados. Tanto as autoavaliações como as auditorias são providas de análise de documentos, permitindo a verificação dos requisitos básicos para atendimento às regulamentações.

As autoavaliações são utilizadas por nove dentre as 17 iniciativas. A vantagem desta metodologia é o alcance, pois pode ser aplicada para uma grande quantidade de fornecedores para que se tenha a análise prévia quanto ao atendimento dos quesitos estabelecidos. Nesta etapa é possível solicitar documentações e verificar, à distância, algumas questões regulatórias. Além disso, quando realizada via sistema fornece dados compilados para análise. Isto também pode ser útil para as ações de monitoramento e para análises de risco, contribuindo na identificação dos fornecedores mais críticos.

Já as auditorias são aplicadas em 13, das 17 iniciativas, sendo que 65% são de terceira parte, ou seja, realizadas por organizações externas independentes, com base nos critérios estabelecidos pelo programa. Com isso mantem a idoneidade e imparcialidade da avaliação e, ainda, atingem maior abrangência em termos de localidade já que os principais organismos independentes possuem uma rede de auditores distribuídos em diversos países.

Para compartilhamento das informações 71% das iniciativas possuem bancos de dados e plataformas comuns, normalmente via site na internet com área restrita para as empresas membros, que permitem o acesso atualizado a todos os resultados. Também há casos em que a iniciativa utiliza a estrutura de parceiros, que oferecem soluções de abrangência global para aplicação de autoavaliação e análise de riscos.

A disponibilidade e confiabilidade das informações é um ponto relevante, pois os processos de verificação precisam ter documentações e relatórios disponíveis para o caso de fiscalizações e certificações nas instalações das empresas membro.

Dentre as iniciativas listadas há algumas que também realizam ações de desenvolvimento, ofertando treinamentos, capacitações e planos de melhoria com acompanhamento periódico dos fornecedores, de forma a melhorar o desempenho dos mesmos e atingir um alto nível de maturidade com relação à sustentabilidade.

Esta é uma prática importante para promover a melhoria contínua e obter uma aproximação da cadeia de suprimentos com as empresas e com os propósitos e objetivos dos programas.

As práticas citadas são as comumente adotadas pelas organizações nos programas de gestão de sustentabilidade para fornecedores. É possível incrementar com outras práticas, tais como especificação de compra por tipo de categoria ou serviço; avaliação de desempenho; estabelecimento de metas, sanções e cláusulas de contrato; colaboração ambiental; mapeamento da cadeia de valor; avaliação de subcontratados, entre outros.

As ações são definidas conforme a estrutura e os recursos da iniciativa e podem evoluir ao longo do tempo. Portanto, cabe a cada grupo de empresas definir quais são as mais relevantes, como e quando as implementar.

5.2. INICIATIVAS COLABORATIVAS ESPECÍFICAS PARA O SEGMENTO AMBIENTAL

Das 17 iniciativas apenas duas são aplicáveis estritamente para prestadores de serviços ambientais, objeto do presente artigo, sendo ambas destinadas à gestão de resíduos. Uma delas é a CHWMEG *Inc*, associação comercial sem fins lucrativos composta por indústrias, constituída em 1995 nos Estados Unidos, e cujo objetivo é promover globalmente a gestão responsável dos resíduos, auxiliando as empresas na avaliação e gestão de riscos ambientais decorrentes do gerenciamento de resíduos realizado por terceiros. Atualmente conta com mais de 280 membros e 550 empresas afiliadas (dados de setembro de 2018). Possui escopo de aplicação mundial, com mais de 1750 fornecedores definidos, que somam aproximadamente 4700 relatórios realizados desde 1995. A maioria das instalações verificadas estão localizadas nas regiões dos Estados Unidos e Canadá, além dos outros 48 países, como demonstra a Figura 4.



Figura 4: Localização dos fornecedores verificados pelo programa CHWMEG INC.

Fonte: © CHWMEG, Inc., 2018 (Map centered at S45° 10' 34" W152° 35' 44").

A região com maior concentração de verificações é a América do Norte, com o total de 1411 instalações. Em seguida vem a Europa, com 173 e a Ásia, com 133. Na América do Sul somam 38 instalações, sendo 16 no Brasil. As demais regiões têm números ainda menos expressivos, com 25 instalações na Austrália e seis na África.

Além da taxa de filiação nominal, as empresas envolvidas compartilham os custos dos relatórios das auditorias independentes realizadas nas instalações de fornecedores que tratam, armazenam, descartam, reciclam ou transportam resíduos. Segundo dados divulgados pela organização, os membros têm o potencial de realizar economias de custo significativas.

O escopo de verificação da auditoria considera: configuração física e geológica, comunidade de entorno, histórico de conformidade, layout de instalações, histórico de derrame ou incidente, problemas operacionais, estrutura organizacional e de pessoal, gestão financeira e de clientes, procedimentos de aceitação de resíduos.

A outra iniciativa específica para gestão de resíduos é a *Waste Facilities Audit Association* (WFAA, 2018), associação sem fins lucrativos formada em 1993 no Reino Unido. Tem como objetivo responder à pressão de requisitos legais ambientais, aumento do custo de eliminação de resíduos e aumento da expectativa pública e corporativa. Possui cerca de 40 empresas membro, dentre elas: Basf (GER), Henkel (GER), Auegan (UK), Air Products (EUA), Alexion (EUA), Lilly (EUA), Hexcel (EUA), Johnson e Johnsonn (EUA), Merck (GER), Pfizer (EUA).

As auditorias são realizadas por consultores ambientais internacionais e são divididas em dois programas principais, sendo um para verificar as instalações de fornecedores localizados no Reino Unido e outro para as verificações na Europa continental e Irlanda.

Até o momento reúnem um total de 115 verificações, sendo 67 no Reino Unido e 48 na Europa continental e Irlanda, como demonstra a Figura 5 (dados de setembro de 2018).



Figura 5: Localização dos fornecedores verificados pelo programa WFAA

Fonte: WFAA, 2018.

O escopo das auditorias compreende atendimento às regulamentações, gestão financeira, solo e água subterrânea (arredores e instalações), gestão ambiental, armazenamento de resíduos, gestão de saúde e segurança, resposta a emergências e análises específicas para os casos em que o fornecedor possua tratamento térmico e aterro em suas instalações ou receba resíduos radioativos.

A empresa pode optar em qual categoria quer se enquadrar ao tornar-se membro, o que varia conforme os tipos de serviços e custos de adesão. As auditorias são realizadas por organismos de terceira parte e os custos são compartilhados entre os membros participantes, bem como todos os relatórios das auditorias realizadas no período.

Em ambas as iniciativas, Chwmeq e WFAA, são os membros que decidem quais fornecedores devem ser auditados anualmente e os resultados são compartilhados em plataforma *on line*. Também oferecem ações de desenvolvimento para os membros, como eventos técnicos e *workshops*.

5.3. OPORTUNIDADES PARA CONSTITUIÇÃO DE INICIATIVA LOCAL

O mercado de bens e serviços ambientais é relativamente novo e com grande potencial para crescimento em termos mundiais. Possui oferta consolidada em países desenvolvidos, como Alemanha e os Estados Unidos.

Estes mesmos países também são precursores nas definições do segmento e nas diretrizes do comércio internacional e são nestas regiões, da Europa e América do Norte, que se encontram a maioria das iniciativas colaborativas mencionadas.

Nas duas únicas iniciativas voltadas para o segmento ambiental, Chwmeq e WFAA, a proposta de atuação é global, porém a abrangência das auditorias alcança principalmente as regiões da Europa e América do Norte.

Alguns fornecedores brasileiros já passaram pelo processo de avaliação da Chwmeq, tendo-se em vista que dentre as empresas membro há multinacionais com operação no Brasil, porém a quantidade de auditorias ainda é inexpressiva.

No Brasil estão estabelecidas algumas leis que demonstram a necessidade de as empresas aplicarem avaliações criteriosas junto aos seus prestadores de serviços, pois além de serem responsáveis pelo controle da poluição proveniente de seus processos industriais, são também corresponsáveis pela atuação de seus fornecedores.

A Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 2010, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e a Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos que estabelece as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, bem como, o conceito de responsabilidade compartilhada.

Há também leis que contribuem indiretamente para a alavancagem do mercado ambiental, como a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) instituída na lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009, que se trata do compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima para redução de emissões de gases de efeito estufa projetadas até 2020. Bem como, a lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, dentre outras.

Além das leis, há acordos internacionais ratificados pelo Brasil como os firmados em 2015: o Acordo de Paris, no qual os países devem divulgar regularmente suas contribuições determinadas nacionalmente para mitigar as mudanças climáticas; e a Agenda 2030 da ONU, declaração composta pelos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, que transcorrem pela dimensão social, ambiental e econômica e deverão ser alcançados até 2030.

As políticas e demais acordos internacionais relacionados ao meio ambiente e ratificados pelo Brasil tendem a reforçar a demanda do mercado de bens e serviços ambientais, impulsionando investimentos e a expansão contínua dos mercados de tecnologia verde.

Há escassez de estudos e dados atualizados que apresentem o panorama do mercado brasileiro de bens e serviços ambientais, porém as análises internacionais indicam o crescimento progressivo deste setor em termos mundiais, inclusive nos países em desenvolvimento.

As empresas instaladas no Brasil apontam a necessidade de aplicarem avaliações mais criteriosas de seus prestadores de serviços, para se precaverem perante requisitos legais, porém enfrentam dificuldades já que contam com quadros enxutos de colaboradores e indisponibilidade de tempo para as atividades de qualificação e monitoramento de fornecedores.

Na prestação de serviços ambientais, as atividades de gestão de resíduos e tratamento de efluentes estão entre as mais demandadas atualmente e têm estimativa de serem responsáveis por 78.6% (40,1; 38,5 respectivamente) do mercado até 2020.

Em atividades de gestão da poluição, de forma geral, há incidência do manuseio de materiais, coleta, armazenamento, transporte e disposição de resíduos e rejeitos, que requerem um nível alto de controle por parte das empresas que contratam os serviços.

Algumas etapas da execução destes serviços são realizadas dentro das instalações das empresas contratantes, mas grande parte ocorre sob a gestão de terceiros que utilizam máquinas, equipamentos, veículos, instalações e estrutura própria ou de subcontratados.

Os principais critérios que devem ser avaliados para a contratação destes prestadores de serviço são equivalentes às exigências fixadas pelas regulamentações para o exercício de suas atividades. Ou seja, independentemente da empresa que estiver avaliando, os critérios aplicados serão similares, pois dizem respeito à requisitos legais.

Ao analisar o êxito das iniciativas internacionais para avaliação do segmento ambiental e atendo-se ao cenário nacional regido por regulamentações, acordos e longo período de recessão na indústria entende-se que há potencial para constituir iniciativas locais no Brasil, que apoiem empresas no processo de qualificação de prestadores de serviços ambientais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim como o mercado de bens e serviços ambientais vem se estruturando e apresentando cada vez mais soluções, as organizações que contratam este segmento também precisam adequar seus processos e métodos de avaliação para selecionar tais fornecedores.

Estimuladas principalmente pelas regulamentações ambientais, as organizações se veem obrigadas a gerir apropriadamente seus impactos sociais e ambientais, decorrentes de seus processos e de sua cadeia de fornecedores.

As iniciativas colaborativas se apresentam com uma solução vantajosa, onde organizações com objetos de contratação semelhantes possam unir esforços na aplicação de processos de qualificação e gestão de fornecedores. Além disso, as empresas contratantes dos serviços reduzem custos ao evitar avaliações e auditorias múltiplas, obtêm melhoria na qualidade dos parceiros selecionados e a redução dos riscos relacionados à sustentabilidade.

Para os prestadores de serviços há vantagens na redução de auditorias realizadas em suas instalações, além da possibilidade de ampliação da carteira de clientes, já que a iniciativa compartilha os resultados entre os membros.

Com isso, observa-se que há oportunidade para se constituir iniciativas de qualificação de prestadores de serviços ambientais no Brasil. Ao agirem conjuntamente, as empresas aumentam sua capacidade de gerar mudanças na cadeia de valor. Os critérios são legitimados em termos de mercado ao estabelecerem as exigências mínimas que os fornecedores devem atender para tornarem-se aptos perante um determinado grupo de empresas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). *Relatório de Acompanhamento setorial: Competitividade do Setor de Bens e Serviços Ambientais*. Brasília, DF, 2012. 222p. Estudos. Disponível em: <<https://goo.gl/yDRNHf>> Acesso em: 28 fev. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 14001:2015: Sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso*. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 20400:2017: Compras Sustentáveis – diretrizes*. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM E ELETROELETRONICOS E ELETRODOMÉSTICOS (ABRE). Disponível em: <<https://goo.gl/B2mB1i>> Acesso em: 15 abr. 2018.
- AQUINO, André C. B.; MENEGUETE, José T.; Pagliarussi, Marcelo S. *Certificação de fornecimento e custos de transação: resultados do programa integrado de desenvolvimento e qualificação de fornecedores – Prodfor*. Produção, v.22, n.3, p. 564-575, mai/ago 2012.
- CHWMEG. Disponível em: <<https://goo.gl/Ag4Z7p>> Acesso em: 11 set. 2018
- ECOSENSE - Forum for Sustainable Development of German Business. *Process steps in Sustainable Supply Chain Management*. Berlin, 2017. 18p. Practical guidelines for companies.
- EUROSTAT, European Comission. *Environmental goods and services sector accounts, 2016*. Luxembourg: Publications of the European Union, 2016. 117p. Manuals and Guidelines. Disponível em: <<https://goo.gl/WnHA1h>> Acesso em: 22 abr. 2018.
- EUROSTAT, European Comission. *The environmental goods and services sector, 2009*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009. 200p. Methodologies and Working papers. Disponível em: <<https://goo.gl/zHEou7>> Acesso em: 09 abr. 2018.
- FEDERAL MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, NATURE CONSERVATION AND NUCLEAR SAFETY (BMU). *Greentech Made in Germany 2018: Environmental Technology Atlas for Germany*. 2017p. Brochure. Disponível em: <<https://goo.gl/RViXwW>> Acesso em: 11 set. 2018.
- INTERNATIONAL TRADE CENTRE (ITC). *Trade in Environmental Goods and Services: Opportunities and Challenges*. 2014 v., 48p. Technical Paper. Disponível em: <<https://goo.gl/XShPqU>> Acesso em: 14 mar. 2018.
- MACLEAN, R., JAGANNATHAN S., PANTH B. Overview. In: *Education and Skills for Inclusive Growth, Green Jobs and the Greening of Economies in Asia*. Technical and Vocational Education and Training: Issues, Concerns and Prospects, vol 27. Springer, Singapore. (2018)
- MOURA, Luciano R. *Gestão do relacionamento com fornecedores: análise da eficácia de programa para desenvolvimento e qualificação de fornecedores para grandes empresas*. 334 p. Tese – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/LwPJNa>> Acesso em: 28 fev. 2018.

NASCIMENTO, R.; ALMEIDA, L. Comércio internacional de tecnologias ambientais: o padrão histórico em análise. *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas (SP), 15 (2), p. 247-274, julho/dezembro 2016.

ONU BR, Nações Unidas do Brasil. *Documentos temáticos: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável* 1, 2, 3, 5, 9 e 14. Brasília, DF, 2018a. 107p. Disponível em: < <https://goo.gl/CZj9Vv>> Acesso em: 11 set. 2018.

ONU BR, Nações Unidas do Brasil. *Documentos temáticos: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável* 6, 7, 11, 12 e 15. Brasília, DF, 2018b. 116p. Disponível em: < <https://goo.gl/PiFjKW>> Acesso em: 11 set. 2018.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE); EUROSTAT. *The Environmental Goods & Services Industry: Manual for Data Collection and Analysis*. 1999. OECD Publishing (Organizations for Economic Co-operations for Economic Development – OECD), Paris. Disponível em: <<https://goo.gl/wTV93w>> Acesso em: 02 mar. 2018. © OECD, 1999.

PAL, Om; GUPTA, Amit K.; GARG, R.K. Supplier Selection Criteria and Methods in Supply Chains: A Review. World Academy of Science, Engineering and Technology, *International Journal of Economics and Management Engineering*, Vol:7, No:10, 2013, p.2667-2673. Disponível em: < <https://goo.gl/u1zMYZ> > Acesso em: 28 fev. 2018.

PROGRAMA INTEGRADO DE DESENVOLVIMENTO E QUALIFICAÇÃO DE FORNECEDORES (PRODFOR). Disponível em: < <https://goo.gl/w7UvY7>> Acesso em: 23 mar. 2018.

SUSTAINABLE ELECTRONICS RECYCLING INTERNATIONAL (SERI). R2:2013 - The Responsible recycling Standard for Electronics Recyclers. Disponível em: <<https://goo.gl/ALWSeH>> Acesso em: 15 abr. 2018.

TEIXEIRA, Kellyn C. *Modelo para formação dinâmica de rede de fornecedores em empresas estendidas*. 2015. 140 p. Dissertação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/9EgZDm>> Acesso em: 28 fev. 2018.

TOGETHER FOR SUSTAINABILITY (TFS). Disponível em: < <https://goo.gl/3zW47s> //> Acesso em: 23 mar. 2018.

UNITED NATIONS. *Sistema de contas econômicas ambientais 2012 – Marco Central (SEEA, 2012)*. Tradução de: COMISSÃO ECONÔMICA PARA AMÉRICA LATINA E O CARIBE (CEPAL), 2017. 320p. System of Environmental-Economic Accounting 2012 - Central Framework. Disponível em: <<https://goo.gl/L9Ky6Pf>> Acesso em: 09 abr. 2018

WASTE FACILITIES AUDIT ASSOCIATION (WFAA). Disponível em: < <https://goo.gl/o861RM>> Acesso em: 11 set. 2018.

WEEELABEX. Disponível em: < <https://goo.gl/c4TZmf>> Acesso em: 15 abr. 2018.

WASTE FACILITIES AUDIT ASSOCIATION (WFAA, 2018). Disponível em: < <https://goo.gl/qbewJM>> Acesso em: 15 abr. 2018.

GESTÃO DE GASES DE ATERROS SANITÁRIOS
NO BRASIL E ALEMANHA

JÉSSICA DE MIRANDA PAULO
ANDREAS FRIEDRICH GRAUER



GESTÃO DE GASES DE ATERROS SANITÁRIOS NO BRASIL E ALEMANHA

O aterro sanitário é a principal destinação final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Esta tecnologia constitui-se de uma área previamente escolhida, projetada e adaptada para recebimento de resíduos sólidos de forma a evitar maiores impactos ambientais, pois possui sistemas planejados de drenagem de gases, efluentes e compactação dos resíduos sólidos por meio de maquinário apropriado.

Os aterros sanitários são ambientes em que ocorrem a decomposição dos resíduos sólidos, resultando em gases e chorume. Neste estudo a abordagem é dada ao gás de aterro.

Dentre diversos componentes presentes nestes gases, está o metano que pode ser capturado e usado como fonte de energia renovável. Quando não tratado e capturado, este gás contribui de forma potencial com o efeito estufa, sendo o seu potencial de aquecimento 28 vezes maior que o dióxido de carbono (IPCC, 2014). O metano contribuiu com 40% das alterações climáticas nos últimos 150 anos e sua concentração na atmosfera tem aumentado em um fator de duas vezes no último século (BARLAZ et al, 2004).

A Lei nº 12.187 de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima, determinou o compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com o objetivo de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas até 2020.

Na Figura 1 é possível identificar as estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil em Gigagramas de dióxido de carbono equivalentes (CO₂e) por setor no período de 1990 a 2012.

Conforme pode ser visualizado na Figura 1, o setor de Resíduos e de Energia foram os únicos que tiveram crescimento das emissões em todos os anos, sem qualquer estabilização ou redução. No caso do setor de Resíduos, o crescimento pode ter ocorrido devido ao aumento da população e da geração de resíduos sólidos.

Uma publicação da Iniciativa Global de Metano mostra que o Brasil esteve entre os 10 países com maiores emissões de metano provenientes de aterro, estando em nono lugar no ranking com o total de 17.800 Gg de CO₂ equivalentes no ano de 2010. Globalmente, os aterros são a terceira maior fonte antropogênica de metano. Países crescentes, economias de consumo e elevado crescimento populacional, como China e Brasil, tendem a aumentar as taxas de disposição final de resíduos (GLOBAL METHANE INITIATIVE, 2011).

Em 2014 foram destinados 29.659.170 toneladas de resíduos sólidos urbanos (41,6% do total de resíduos sólidos urbanos gerados no ano) para lixões ou aterros

controlados (ABRELPE, 2014) no Brasil, os quais do ponto de vista ambiental pouco se diferenciam dos lixões, pois não há sistemas de drenagem para captação ou aproveitamento de gases, dentre outras tecnologias que protegem o meio ambiente e a saúde pública.

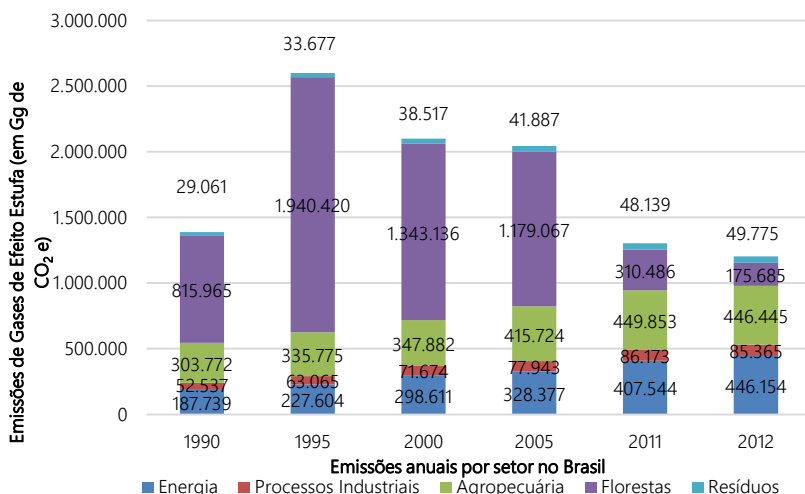


Figura 1 - Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil (em Gg de CO₂ e por setor)

Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2014

Este dado significa que mais de 81 mil toneladas diárias são destinadas de forma irregular e que, portanto, não possuem monitoramento de emissões.

Avaliações e previsões científicas mostram que os aterros sanitários necessitam ser gerenciados por um longo período após o seu encerramento, sendo que a estimativa para alguns casos é de até 100 anos após o seu fechamento, em virtude dos gases e chorume (LAUX, REISER, KRANERT, 2014). Em vista disso, fica o questionamento de quando finalizar o gerenciamento pós-encerramento do aterro, visto que o horizonte de até 100 anos é muito longo e oneroso.

O presente artigo, portanto, tem como objetivo destacar a relevância de se mensurar periodicamente as emissões geradas em aterros sanitários, incluindo a etapa de pós encerramento, realizar uma comparação entre os países Brasil e Alemanha no que se refere a gestão de emissões de gases em aterros sanitários, as legislações vigentes e normas vigentes e os procedimentos de redução de gases.

Este texto foi elaborado com base em legislações e normativas do Brasil e Alemanha, artigos científicos e publicações de instituições envolvidas no tema.

1. GASES GERADOS EM ATERROS SANITÁRIOS

Os resíduos sólidos, quando depositados em um aterro, primeiramente passam por um estágio de decomposição aeróbica durante o qual pouco ou nenhum metano é gerado. Em menos de um ano, as condições anaeróbicas são normalmente estabelecidas e as bactérias da metanogênese começam a decompor os resíduos e a gerar metano. A digestão da biomassa em um aterro sanitário ocorre, portanto, através da degradação microbiológica da matéria orgânica, em condições de ausência de oxigênio, conhecido como digestão, o qual gera um gás conhecido como biogás. Há três grupos principais de bactérias responsáveis pela digestão da biomassa: acidogênicas, acetogênicas e metanogênicas. A transformação de matéria orgânica em biogás ocorre em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

O gás de aterro compõe-se de vários gases, sendo a maior parcela o metano e o dióxido de carbono e outros em quantidades traços, como: nitrogênio, sulfeto de hidrogênio e outros compostos orgânicos (THEMELIS, ULLOA, 2006), conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Composição volumétrica do gás de aterro

Composição do gás	
Substâncias	Concentração Média (%)
Metano (CH ₄)	50
Dióxido de carbono (CO ₂)	45
Nitrogênio (N ₂)	5
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	< 1
Outros Compostos Orgânicos	2700 ppmv ¹

¹ partes por milhão por volume

Fonte: Adaptado de THEMELIS, ULLOA (2006).

No que se refere aos outros compostos orgânicos, o detalhamento de cada um deles e suas concentrações estão apresentados na Tabela 2, sendo estes dados parte dos resultados de um estudo envolvendo 66 aterros urbanos da Gestão Integral de Resíduos da Califórnia que realiza ensaios sobre gases de aterro.

Tabela 2 – Concentrações típicas de compostos em aterros de RSU^aConcentrações típicas de compostos em quantidades traço encontrados no gás de aterro em 66 aterros de RSU^a da Califórnia

Composto	Concentração (ppbv ^b)		
	Mediana	Média	Máxima
Acetona	0	6.838	240.000
Benzeno	932	2.057	39.000
Clorobenzeno	0	82	1.640
Clorofórmio	0	245	12.000
1, 1-Dicloroetano	0	2.801	36.000
Diclorometano	1.150	25.694	620.000
1, 1-Dicloroetano	0	130	4.000
Clordietileno	0	2.835	20.000
Trans-1,2-Dicloroetano	0	36	850
2,3-Dicloropropano	0	0	0
1,2-Dicloropropano	0	0	0
Brometo de etileno	0	0	0
Dicloroetileno	0	59	2.100
Óxido de etileno	0	0	0
Etilbenzeno	0	7.334	87.500
Metil-etil-cetona	0	3.092	130.000
1,1,2-Tricloroetano	0	0	0
1,1,1-Tricloroetano	0	615	14.500
Tricloroetileno	0	2.079	32.000
Tolueno	8.125	34.907	280.000
1,1,2,2-Tetracloroetano	0	246	16.000
Tetracloroetileno	260	5.244	180.000
Cloreto de vinila	1.150	3.508	32.000
Estireno	0	1.517	87.000
Acetato de vinila	0	5.663	240.000
Xilenos	0	2.651	38.000

¹ Resíduos Sólidos Urbanos² – partes por bilhão por volume

Fonte: Adaptado de TCHOBANOGLIOUS et al. (1994, apud BRITO FILHO, 2005).

Brito Filho (2005) afirma que a presença dos compostos orgânicos voláteis nos gases de aterro em quantidades significativas está relacionada com aterros sanitários antigos que receberam resíduos industriais e comerciais.

Liu et al. (2016) estudaram as emissões de compostos aromáticos fugitivos provenientes de um aterro de resíduos sólidos urbanos na China e identificaram que o tolueno obteve a maior taxa de emissão ($3,4 \pm 3,79 \text{ g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), seguido por *o*-xileno ($1,96 \pm 0,73 \text{ g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) e etilbenzeno ($1,23 \pm 1,21 \text{ g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$). Isso se deve ao fato de que embalagens de produtos de limpeza e desengordurantes destinados aos aterros sanitários possuem residuais cuja composição inclui compostos aromáticos (LIU et al., 2016).

No que se refere ao volume de gás, a quantidade de biogás produzido pode alcançar valores superiores a 180 m^3 por tonelada de resíduos nos primeiros cinco anos, com um percentual próximo de 50% de metano (OBLADEN, OBLADEN, BARROS, 2009). Conforme a vida útil chega ao fim (de 40 a 60 anos), o volume é reduzido, podendo chegar a 5 m^3 por tonelada de resíduos com percentuais de metano de até 10%, em aterros com mais de 20 anos (OBLADEN, OBLADEN, BARROS, 2009).

Audibert e Fernandes (2013) realizaram um estudo da vazão de metano no aterro do Município de Londrina e chegaram à conclusão que as vazões de gás metano nos drenos verticais variaram de 0 a $190,2 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$, dependendo do formato do dreno e da idade de deposição dos resíduos sólidos. Foram registradas emissões de superfície de metano entre 1,3 e $30,6 \text{ NL h}^{-1} \text{ m}^2$, o que resultou num valor preliminar de $16.840.830 \text{ Nm}^3 \text{ ano}^{-1}$ de metano (AUDIBERT, FERNANDES, 2013).

De acordo com Borgatto (2006), os resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil têm percentual de matéria orgânica que variam de 50 a 60% do peso total da amostra, sendo este valor típico de países em desenvolvimento. Sabendo que os resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil são destinados em sua grande maioria aos aterros sanitários e lixões, entende-se que há alto favorecimento de bactérias metanogênicas que emitem metano.

De acordo com Rettenberger e Mezger (1992), a produção de gás em aterro sanitário em longo prazo é dividida em seis etapas que estão descritas a seguir e ilustradas na Figura 2.

Fase I – Fase estável do metano

Aproximadamente de 1 a 3 anos após a deposição, a concentração do metano fica estável. Após esta etapa, pode-se estimar uma proporção de 55% em volume de CH_4 e 44% de volume de CO_2 , sendo a proporção destes dois gases de 1,2. oxigênio e nitrogênio ainda não estão presentes, somente em traços. Áreas sem vedação e sem evacuação adequada de superfície apresentam altas emissões.

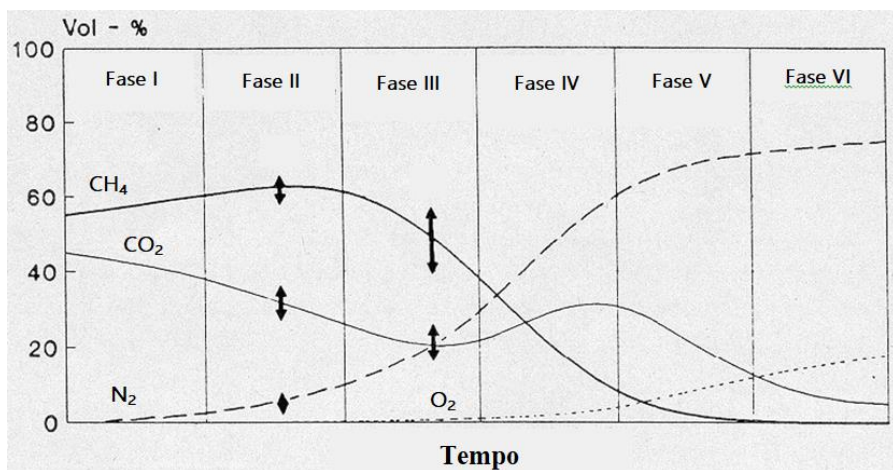


Figura 2 – Perfil da concentração do gás de aterro ao longo do tempo (gráfico sem escala).

Fonte: Adaptado de RETTENBERGER e MEZGER. (1992)

Fase II – Fase de longo prazo

Nesta fase, a razão CH_4/CO_2 é maior que 1,5. Etapa caracterizada por níveis elevados de metano nos aterros sanitários. Estima-se uma concentração de 50% a 85% de volume em CH_4 , podendo variar conforme a relação C:H:O:N nas matérias-primas degradadas, temperatura e velocidade de degradação.

Fase III – Fase de penetração do ar

Nesta fase, a razão CH_4/CO_2 diminui novamente. A concentração inicial do gás é diluída pelo fluxo de ar atmosférico. O metano fica entre 10 – 40% em volume e o oxigênio entre 5 – 30%. A proporção de N_2 passa a ser detectável (10 a 30% em volume). Esta fase é caracterizada pela diluição do resíduo disposto e não há homogeneidade em todas as áreas do local de deposição, pois cada espaço do aterro pode estar em uma fase de diferente.

Fase IV – Fase de oxidação do metano

Com a queda da geração de metano, o ar com a presença de oxigênio começa a penetrar no aterro e assim, juntamente com diversos microrganismos chamados de metilotróficos, o metano é oxidado para produzir dióxido de carbono. Este processo diminui a relação CH_4/CO_2 para menos de 1. A composição típica dos gases nesta fase é: 20% de CH_4 , 30% de CO_2 , 45% de N_2 e 5% de O_2 .

Fase V – Fase do dióxido de carbono

Nesta fase, a concentração do metano avança em direção a zero e em contrapartida, ainda há dióxido de carbono em quantidade considerável presente no aterro. Nas áreas em que ainda existem zonas anaeróbicas, o metano é quase que completamente reduzido, pois a tendência desta fase é que estas zonas sejam suspensas.

O resultado é o aumento da degradação aeróbica do material orgânico residual, bem como do dióxido de carbono. Nesta fase, o teor de metano no núcleo do aterro é muito baixo (máximo 2 – 5 % de volume) e os teores de CO₂ estão entre 5 e 20% volume, além do aumento do teor de N₂ (> 60% em volume).

Fase VI – Fase do ar

Se o teor de dióxido de carbono diminui ainda mais e o teor de oxigênio aumenta em cerca de 20% em volume, a fase do ar é atingida e assim, as áreas de poros do aterro são completadas por gás de aterro. A composição do gás típico nesta fase é: 0% de CH₄, 4% de CO₂, 78% de N₂ e 18% de O₂.

Wu et al. (2017) realizaram um estudo comparando a variação espaço-temporal do gás em aterros semi-aeróbios e anaeróbios em escala piloto durante 5 anos e chegaram à conclusão que a concentração de metano no aterro semi-aeróbio foi significativamente menor nas camadas superiores e médias do que no aterro anaeróbio.

As concentrações médias de CH₄ e CO₂ no aterro anaeróbio foram sempre maiores que aquelas no aterro semi-aeróbio em cada período correspondente, devido à reação aeróbia de resíduos ao redor do tubo perfurado no aterro semi-aeróbio, que inibiu a geração de CH₄ (WU et al., 2017).

2. GERAÇÃO DE GÁS DE ATERRO SANITÁRIO NO BRASIL

No Brasil, em 2010 foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos que determinou a adoção de metas para a eliminação e recuperação de lixões bem como o aproveitamento energético dos resíduos. A Política tem outros objetivos, dentre eles merecem destaque: a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos, e só então a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais e o incentivo à reciclagem.

Mesmo após a aprovação da Lei nº 12.305 em 2010, uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em

2013 apresentou que os resíduos coletados em 2011 tiveram como destino os aterros sanitários (58%), aterros controlados (24%) e lixões (17%). Quanto aos municípios brasileiros, somente 40% encaminharam resíduos para o aterro sanitário, 32% municípios encaminharam resíduos para aterro controlado e 28% utilizaram lixões (ABRELPE, 2015).

Os aterros sanitários possuem um grande potencial para implantação de projetos de captação de biogás, a fim de mitigar as emissões de gases do efeito estufa. Os projetos de mitigação consistem basicamente na captura, queima ou outro aproveitamento do conteúdo energético do biogás, seja para gerar eletricidade e calor, ou para tratá-lo e utilizá-lo como gás natural, evitando assim sua liberação para a atmosfera (ABRELPE, 2013).

A ABRELPE (2013) identificou 46 projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e um Programa de Atividades na categoria de manejo e destinação de resíduos – aterros sanitários. Exemplos disso são o aterro Bandeirantes e o São João localizados no Estado de São Paulo. O primeiro foi responsável pela geração de 755.700 MWh durante o período 2004 a 2010 e o segundo gerou 476.900 MWh durante o período de março de 2008 a maio de 2012 (ABRELPE, 2013).

Souza et al. (2014) realizaram um estudo do potencial de produção de eletricidade a partir de resíduos sólidos municipais dispostos nas maiores cidades do Brasil e concluíram que os aterros sanitários têm potencial de geração total de 2.314,8 GWh por ano e o potencial técnico de geração de energia elétrica seria de 12,1 MW em Curitiba e 79,6 MW em São Paulo. Um total de 289,3 MW de potência elétrica poderia ser instalada nas maiores cidades do Brasil (SOUZA et al., 2014).

Os projetos de biogás vão de encontro a Política Nacional de Resíduos Sólidos, mas esta Lei não menciona em momento algum a importância de se mensurar e controlar os gases de aterros sanitários, mesmo que um dos seus objetivos seja a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental.

3. GERAÇÃO DE GÁS DE ATERRO SANITÁRIO NA ALEMANHA

Na Alemanha, a Regulamentação Alemã sobre Disposição de Resíduos de 2001 instituiu que, a partir de junho de 2005, todos os resíduos devem ser submetidos a um processo de estabilização biológica ou incinerados antes de serem dispostos em aterro sanitário.

A parcela residual dos resíduos sólidos urbanos é encaminhada para o tratamento mecânico – biológico (*Mechanically and Biologically Treated Waste* – MBT) a fim de

separar materiais aproveitáveis e com isso, aumentar a vida útil dos aterros e diminuir as emissões.

As plantas de MBT constituem-se das etapas de preparação mecânica e tratamento biológico. Na preparação mecânica são removidos metais, poluentes, substâncias nocivas e frações energéticas, sendo o restante encaminhado para a estabilização biológica.

No período de 1990 até 1993 a Alemanha teve um crescimento nos níveis de emissões diretas provenientes de aterros (FISCHER, 2013). A partir de 2001, as emissões evitadas resultantes das atividades de gestão de resíduos foram superiores às quantidades causadas pelas emissões diretas dos aterros, das plantas de incineração, das atividades de reciclagem e de logística de resíduos sólidos urbanos (FISCHER, 2013). As emissões diretas provenientes de aterros reduziram de aproximadamente 10.400 Gg de CO₂e em 1990 para aproximadamente 4.000 Gg de CO₂e em 2010 (FISCHER, 2013).

Estes resultados mostram a consequência positiva da implantação da Regulamentação Alemã sobre Disposição de Resíduos.

4. MEDIÇÃO DE METANO EM ATERROS NO BRASIL E ALEMANHA

4.1. MEDIÇÃO DE METANO EM ATERROS NO BRASIL

No Brasil, a Lei de Crimes Ambientais (9.605/1998), a Lei da Proteção da Vegetação Nativa (12.651/2012) e as instruções normativas do IBAMA (146/2007 e 154/2007), em seu conjunto determinam o dever da supervisão ambiental de aterros em funcionamento e, dentre outras coisas, recomenda a implantação de programa para captação dos gases (biogás) drenados pelos poços para queima ou aproveitamento em projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) (OBLADEN, OBLADEN, BARROS, 2009).

Para realização do monitoramento de gases, Obladen, Obladen e Barros (2009) recomendam a escolha de um laboratório que disponha de um cromatógrafo e um equipamento para detecção de gases no terreno, além da utilização de um diário de obras para registro das variações ocorridas na produção do biogás, bem como outras ocorrências pertinentes.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua Norma Brasileira – NBR 10.157 de 1987 que trata de aterros de resíduos perigosos, ordena que qualquer aterro deve prever formas de minimizar as emissões gasosas e favorecer a dispersão de eventuais emanações. Esta NBR determina ainda que, quando do encerramento da atividade do aterro, deve-se prever um plano de encerramento cujo um dos objetivos é minimizar ou evitar a liberação de gases (NBR, 1987). Após o encerramento propriamente

dito, devem ser realizadas atividades, como a manutenção do sistema de coleta de gases, até que não seja mais notada a sua produção (NBR, 1987).

A ABNT NBR 8.419 de 1992 trata da apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos e, dentre outras coisas, traz diretrizes para apresentação de memoriais descritivos para estas atividades, como a apresentação de um sistema para a drenagem de gás que pode ser interligado ao de líquido percolado. A norma cita também que deve ser apresentado um memorial técnico que dentre outras coisas, devem ser incluídos os parâmetros e fórmulas utilizadas para o dimensionamento de todos os itens integrantes do sistema de drenagem de gás com o respectivo desenho técnico (NBR, 1992).

Outra NBR que merece destaque é a NBR 13.896 de 1997 que trata de aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Esta NBR define que no controle de operação do aterro, deve-se ocorrer o registro dos efluentes gerados, se for o caso (NBR, 1992).

No âmbito federal não há legislação e normativa que trate detalhadamente da medição de gases em aterros sanitários. Em alguns Estados, o órgão ambiental solicita o acompanhamento dos resultados das medições de gases ou então o empreendimento o realiza para fins de atendimento à ISO 9.001 (*International Organization for Standardization* – Organização Internacional de Normalização) que estabelece requisitos para o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ).

No Estado do Paraná, por exemplo, a Resolução CEMA 094 de 2014 que define diretrizes para o licenciamento ambiental de aterros, define que o Plano de Controle Ambiental que deve ser entregue no processo de licenciamento é um projeto técnico destinado ao controle de poluição ambiental gerados por poluentes líquidos, sólidos, gasosos e ruídos.

Já a Resolução SEMA 016 de 2014 que define critérios para o Controle da Qualidade do Ar, em seu artigo 58 constante na subseção XXV de saneamento, define que o biogás gerado em reatores de digestão anaeróbia deve ser aproveitado ou, quando desta impossibilidade, deve ser queimado para conversão do metano. Além disso, deve-se implantar cortina vegetal de espécies nativas no entorno do empreendimento e realizar a entrega anual do relatório de automonitoramento com estimativa do impacto de odores na vizinhança do aterro, incluindo as medidas de controle para as fontes fugitivas (PARANÁ, 2014).

Não há, portanto, nenhuma legislação brasileira que determine a necessidade de medir as emissões atmosféricas provenientes de aterros sanitários, bem como parâmetros para tal.

4.2. MEDIÇÃO DE METANO EM ATERROS NA ALEMANHA

Na Alemanha, a fim de se determinar um critério para as emissões de aterros sanitários ativos, foram realizadas pesquisas que concluíram que a emissão de até 5 m³ de metano por hectare e por hora ou 25 m³ de metano por hora para todo o aterro são valores coerentes para um meio ambiente equilibrado (STEGMANN, 2006).

Os pesquisadores concluíram que em até este valor as bactérias conseguem converter todo o metano em gás carbônico e com isso, não há emissão de metano na atmosfera (STEGMANN, 2006).

Isso resultou na Portaria-Lei Simplificada de Aterro de 27 de abril de 2009 que define, em seu Anexo 5, ponto 7:

“Em aterros sanitários em processos de biodegradação com geração de gás de aterro em quantidades relevantes, cabe ao operador do aterro de classe I, II ou III aproveitar este gás de aterro já na fase de deposição e tratar para explorar a energia, sempre que possível. A captação, tratamento e aproveitamento do gás de aterro deve seguir o estado tecnológico atual. A quantidade e qualidade do gás de aterro sanitário devem ser analisadas de acordo com a técnica da Tabela 3.2, item 2.4. O operador do aterro pode, com o consentimento de autoridades, renunciar o recolhimento das emissões residuais baixas. Neste caso, deve-se provar à autoridade responsável, que o metano do gás de aterro é oxidado em grande parte antes da descarga para a atmosfera” (DepV, 2009).

A Tabela 3.2 da referida Portaria-Lei determina que os operadores de aterros sanitários devem efetuar as medições por meio de pessoal capacitado, com técnicas adequadas e que, com a aprovação da autoridade, as extensões e frequências de controle de medição podem ser modificadas.

Já o item 2.4 da referida Tabela estabelece que os dados a serem coletados no que se refere às emissões são as quantidades e composição do gás recolhido (CH₄, CO₂, O₂, N₂ e gases traço selecionados). As frequências seguem no Quadro 1:

Quadro 1 – Frequência de coleta de dados de emissões em aterros na Alemanha

Dados	Fase de operação e encerramento	Fase pós-encerramento
Quantidade de gás	Diária, com valor acumulado diário	Semanal, com valor acumulado semestral
Composição	Mensal	Semestral
Gases traço selecionados	Semestral	-

Fonte: Adaptado de DEPV, 2009.

Esta Lei não proíbe que aterros emitam valores superiores aos estabelecidos nela. O grande objetivo é incentivar que os aterros implantem tecnologias para reduzir o volume de emissões e assim, não seja necessário investir em tratamento de gás.

Uma das razões pela qual a Portaria-Lei Simplificada de Aterro de 27 de abril de 2009 não proibiu emissões acima dos parâmetros é que, por se tratar de emissões difusas, não há técnicas precisas de medição. Mesmo assim, as metodologias mais utilizadas são o *Verein Deutscher Ingenieure – VDI* (Associação dos Engenheiros Alemães) 3860 *Part 3* (Parte 3) referente a medição de gases superficiais de aterro pelo método de detecção de ionização de chama (measurement of surface emissions using the flame ionisation detector – FID) e modelagens matemáticas.

Rachor et al. (2013) demonstraram que há uma certa dificuldade em se mensurar as emissões provenientes de aterro, visto que o comportamento dos gases apresenta grande variação no espaço e no tempo, influenciado por fatores ambientais como temperatura, umidade do solo e pressão ambiente. Devido às diferentes formas de transporte de gás em regiões por advecção ou difusão ou uma mistura de ambos e os efeitos inter e contra atuantes de fatores ambientais, a identificação e previsão de padrões de emissões são difíceis (RACHOR et al., 2013).

O FID analisa as concentrações a partir da absorção de um grande volume de gás através do dispositivo, o que compromete a taxa de emissão de gás natural da área de amostragem, e portanto, não é possível ser obter um resultado que representa uma fonte ininterrupta. Este é método de medição pontual que despense tempo, trabalho e cujos resultados são estimativas que não demonstram a realidade, pois há uma probabilidade de superestimar ou subestimar inversamente as concentrações de metano na fonte, além de não ser aplicável em algumas fontes de áreas inacessíveis (ZHU et al., 2013).

Por este motivo, Zhu et al. (2013) desenvolveram uma metodologia para medição de metano com menor carga de trabalho e custo em comparação com o método convencional FID, o qual consiste em um instrumento chamado TDLAS (*Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy* - Espectroscopia a Laser com Diodo Sintonizável) – sistema GasFinder2.0® e um modelo de dispersão LASAT (*Lagrangian Simulation of Aerosol Transport* – Simulação Lagrangeana de Transporte de Aerossóis) com o dispositivo de medição e modelo de cálculo, respectivamente.

A concentração de metano foi medida com o sistema GasFinder2.0® nas seções a montante e jusante do local do projeto, enquanto que os dados de vento e turbulência foram medidos simultaneamente por um anemômetro ultrassônico. A taxa de emissão média de metano da fonte pode ser calculada usando os resultados das concentrações medidas como dados de entrada no modelo de dispersão (ZHU et al., 2013).

5. PROCEDIMENTOS PARA REDUZIR A EMISSÃO DE METANO EM ATERROS PÓS-ENCERRAMENTO NO BRASIL E NA ALEMANHA

Após o encerramento do aterro, ainda há emissões de gases, portanto deve haver continuidade no monitoramento e é possível utilizar a área para usos menos nobres, como a construção de campos de futebol e parques. De acordo com Freitas, Drago e Makiya (2011), o biogás fica presente em um aterro sanitário por 15 anos após o seu encerramento.

5.1. PROCEDIMENTOS PARA REDUZIR A EMISSÃO DE METANO EM ATERROS PÓS-ENCERRAMENTO NO BRASIL

No Brasil, a partir dos incentivos aos créditos de carbono iniciou-se o investimento em aproveitamento de gás de aterro sanitário. Porém, no país, o aproveitamento de biogás corresponde a apenas pouco mais de 2% da capacidade instalada de geração de energia elétrica (3.517 MW) entre todos os projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no país (IPEA, 2012). O MDL está previsto no Protocolo de Quioto e o seu objetivo é assistir às Partes não incluídas (países em desenvolvimento) a fim de que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção do Clima e assistir às Partes incluídas no Anexo I da Convenção (países desenvolvidos) para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões que foram assumidos no Artigo 3 do Protocolo (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2014).

Lopes et al. (2010) dizem que de 40 a 60% do biogás podem ser drenados pelo sistema de coleta convencionais (drenos verticais) e que maiores taxas são alcançadas quando há a instalação de sistema de extração forçada e uma cobertura que impeça a fuga do biogás (HUMER et. al., 2008 apud LOPES et. al. 2010). Porém, estes sistemas são instalados para recuperar biogás para geração de energia e, no Brasil, isto se limita a empreendimentos de grande porte (LOPES et al., 2010).

A NBR 8.419 de 2012 referente a aterros de resíduos sólidos não perigosos não menciona valores para o coeficiente de permeabilidade do solo e aos gases, somente para permeabilidade de água (LOPES et al., 2010).

Uma prática adotada no Brasil para aterros encerrados é a implantação de camadas metanotróficas ou oxidativas que vão de encontro aos conceitos de bioreativas ou biocoberturas, sendo estas utilizadas como alternativas econômicas de controle de emissões de gases em aterros sanitários.

Lopes et. al. (2010), por meio de experimentos, obteve resultados de eficiência na retenção/ oxidação de CH₄ entre 34,9% a 100% determinados a partir de medições de perfil de concentração ao longo da espessura da camada.

5.2. PROCEDIMENTOS PARA REDUZIR A EMISSÃO DE METANO EM ATERROS PÓS-ENCERRAMENTO NA ALEMANHA

Stegmann (2006) trouxe uma proposta de critérios quantitativos para aterros desocupados na Alemanha. No que se refere aos gases, Stegmann (2006) diz que é importante o seu controle, pois além do risco de incêndio e explosões, o gás metano é muito prejudicial ao efeito estufa.

Stegmann (2006) aplica critérios quantitativos à área total e em 1 hectare, e critérios gerais para aterros de diferentes tamanhos, sendo o objetivo a coleta e o tratamento do gás.

Entende-se que aterros com produção de metano cujo volume é maior que 25 m³ por hora para todo o aterro ou maior que 5 m³ de metano por hora e por hectare, necessitam de tratamento (STEGMANN, 2006). O mesmo dependerá da concentração de metano (STEGMANN, 2006):

- Se CH₄ > 40%, exploração do gás (cogeração combinada, motor de ignição, etc.);
- Se CH₄ > 25%, eliminação inócua (tocha, regeneração térmica oxidativa, etc.) ou imediata estabilização aeróbica in situ;
- Se CH₄ < 25%, baixo tratamento de gás ou estabilização aeróbica in situ acelerada, controlada e inócua dos gases residuais de baixo nível que ocorrem em longo prazo.

Para aterros com produção de gás inferior com um volume de metano menor ou igual a 25 m³ de CH₄ para todo o site e menor ou igual a 5 m³ de CH₄ por hora e por hectare, Stegmann (2006) recomenda:

- Verificar se a coleta e recuperação de gás são ainda viáveis tecnicamente e economicamente;
- Mudar para o tratamento passivo de gases residuais, como por exemplo, pela oxidação de metano na camada de recultivação, sendo necessária a comprovação de que permaneça uma quantidade menor que 0,5 L CH₄/(m²h) nesta camada e que a emissão máxima da área pela camada (para a atmosfera) não supere 25 ppm de hidrocarbonetos (principalmente metano).

A comprovação pode ser realizada pelas medições in loco com FID: 80% numa grade de 25 m, o que equivale a 16 pontos monitorados por hectare, com duas inspeções da superfície do aterro por ano (uma no verão e outra no inverno).

Após 5 anos de comprovação bem-sucedida, a frequência será anual. A proposta é que após 10 anos de atendimento do critério, é possível encerrar o pós-tratamento dos gases.

No que se refere à redução de gases em aterros pós-encerramento, Ritzkowski e Stegmann (2013) dizem que a Alemanha teve um aumento nos últimos anos no número de projetos de aeração, sendo que este pode ser considerado o único método tecnicamente viável para reduzir significativamente o pós-tratamento, tanto pelo tempo quanto pela complexidade.

A fim de estimar os períodos de tempo necessários para a aeração, Ritzkowski e Stegmann (2013) desenvolveram um procedimento para um aterro alemão. Os principais indicadores que determinam o período são: teor de carbono orgânico biodegradável, atividade biológica dos resíduos sólidos, bem como tendências de temperaturas e recalque (RITZKOWSKI e STEGMANN, 2013). Os recalques em aterros sanitários são uma consequência direta da compressão e rearranjo espacial dos resíduos sólidos urbanos (SOUSA et al., 2015).

6. COMPARAÇÃO ENTRE ATERROS NO BRASIL E NA ALEMANHA

O aterro sanitário é a principal forma de destinação final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, sem entrar no mérito se o local é um aterro controlado ou um lixão.

As emissões provenientes deste tipo de destinação estão em ascensão desde 1990, o que preocupa visto que o principal gás relacionado aos aterros sanitários é o gás metano que tem um grande potencial de aquecimento global.

Além do metano, destacam-se outros gases presentes nas emissões, como o dióxido de carbono, nitrogênio, sulfeto de hidrogênio e outros compostos orgânicos que não devem ser ignorados, pois se tratam de substâncias que têm efeito tóxico ao meio ambiente em quantidades pequenas. As fontes destas substâncias podem ser industriais, portanto isso merece atenção no Brasil, visto que a realidade em várias regiões do país é de destinar resíduos industriais de forma clandestina em áreas exclusivamente domésticas. O mais agravante é que estas substâncias são, com grande probabilidade, emitidas sem nenhum controle e monitoramento.

No que se refere às etapas de produção de gás de aterro, pode-se perceber que a fase I e II são de maiores concentrações de metano e que a tendência natural é converter

o metano em gás carbônico. Porém, as fases de deposição podem estar diferentes em cada parte do aterro por motivos de tempo de deposição diferentes, temperatura, nível de oxigênio, umidade, entre outros fatores que estão diferentes em cada espaço e, com isso, o tempo para reduzir o metano pode variar caso a caso.

No Quadro 2 é possível analisar as diferenças entre o Brasil e Alemanha no que se refere a geração de gás em aterro sanitário, a medição e procedimentos para redução das emissões em aterros pós encerramento.

A partir das informações descritas Quadro 2 e outros dados pertinentes no presente artigo, pode-se verificar que:

- Quanto mais matéria orgânica presente no resíduo, maior será o desenvolvimento de bactérias metanogênicas que ao se decompor, emitem gás metano. Aqui cabe realizar uma comparação entre Brasil e Alemanha. No Brasil, um pouco mais da metade dos resíduos urbanos é orgânico. Já na Alemanha, desde 2005 os resíduos orgânicos não são dispostos em aterros sanitários. Isso significa que os aterros encerrados e em atividade desde aquela época estão emitindo metano, mas em quantidades decrescentes. Já no Brasil, como não há esta política e, pelo perfil dos resíduos, a geração de metano é consideravelmente alta. Sendo que neste caso não estão sendo considerados outros fatores que potencializam a produção, como a umidade e a temperatura;
- Percebe-se uma carência de legislação e normas técnicas para controle de gases em aterros sanitários no Brasil, o que pode ser visto com estranheza, já que esta é a forma de disposição final mais comum no país para resíduos urbanos e trata-se de um aspecto importante a ser controlado, como mencionado anteriormente, e ressalta-se ainda que, devido a diversos fatores, o país gera metano em quantidades consideráveis. Já na Alemanha, mesmo o país implantando uma lei que proíba a destinação de resíduos orgânicos em aterro, o país está preocupado em controlar melhor as emissões provenientes de aterros sanitários. Mesmo a legislação sendo recente e com tendência a aprimoramentos, o país tem um ponto de partida para seguir com o assunto.
- A estratégia adotada na Alemanha para medir os gases pode ser adotada no Brasil. Outras ferramentas que poderiam ser desenvolvidas no país são os modelos matemáticos que também são utilizados na Alemanha. Um fator que pode ser melhor discutido é como implantar estes controles no Brasil no sentido de quais tecnologias de tratamento devem ser implantadas conforme os resultados a serem gerados, visto que muitas destas tecnologias ainda são de alto custo.

Quadro 2 – Comparativo entre Brasil e Alemanha

Brasil	Alemanha
Geração de gás de aterro sanitário	
<ul style="list-style-type: none"> Os resíduos sólidos urbanos são destinados para os aterros sanitários, aterros controlados e lixões; O país possui grande potencial para implantação de projetos de captação de biogás, tais como: captura, queima ou aproveitamento energético para gerar eletricidade, calor ou como gás natural; A Lei nº 12.305 de 2010 prevê: erradicação de lixões, aproveitamento energético dos resíduos, proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos, e só então a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais e o incentivo à reciclagem. 	<ul style="list-style-type: none"> Desde 2005, todos os resíduos são submetidos a um processo de estabilização biológica ou incinerados antes da disposição final em aterro; A parcela residual dos resíduos sólidos urbanos é encaminhada para o tratamento mecânico – biológico. Dessa forma é possível aproveitar os materiais e aumentar a vida útil dos aterros, diminuindo as emissões; Como consequência desta política, a partir de 2001 as emissões evitadas resultantes da gestão de resíduos sólidos foram superiores àquelas provenientes de aterros, plantas de incineração, atividades de reciclagem e logística de resíduos sólidos urbanos.
Medição de metano em aterros	
<ul style="list-style-type: none"> A Lei nº 9.605 de 1998, Lei nº 12.651 de 2012, as instruções normativas do IBAMA nº 146 de 2007 e nº 154 de 2007 obrigam a supervisão ambiental de aterros em funcionamento, além da implantação de programas de captação de gases; A ABNT NBR 10.157 de 1987 institui que os aterros devem prever formas de minimizar as emissões gasosas e favorecer a dispersão de eventuais emanções. Esta NBR cita ainda que deve ser previsto um plano de encerramento para minimizar ou evitar a liberação de gases. Após o encerramento da atividade, devem ser realizadas manutenções no sistema de coleta de gases; A ABNT NBR 8.419 de 1992 define que devem ser apresentados projetos de aterros sanitários e memoriais descritivos que contenham sistemas de drenagem de gás que podem ser interligados ao de líquido percolado; No Estado do Paraná, a Resolução CEMA 094 de 2014 traz diretrizes para o licenciamento ambiental de aterros e define que o Plano de Controle Ambiental é um projeto técnico que deve prever o controle de poluição ambiental gerados pelos poluentes líquidos, sólidos, gasosos e ruídos; Ainda neste Estado, a Resolução SEMA 016 de 2014 define que o biogás gerado em reatores de digestão anaeróbia deve ser aproveitado ou queimado para conversão de metano. Além disso, deve ser implantada cortina vegetal de espécies nativas no entorno do empreendimento, além da entrega anual do relatório de automonitoramento com estimativa de impacto de odores na vizinhança e medidas de controle para fontes fugitivas. 	<ul style="list-style-type: none"> A Portaria - Lei Simplificada de Aterro de 2009 define que os gases provenientes de aterros sanitários devem ser aproveitados energeticamente, sempre que possível; Devem ser realizadas medições por meio de pessoal capacitado e com técnicas adequadas. As frequências e extensões podem ser modificadas conforme aprovação da autoridade. Dados a serem coletados: quantidades e composição dos gases; Esta Lei incentiva a implantação de tecnologias para reduzir o volume de emissões; Estudos alemães demonstram a dificuldade de se mensurar emissões fugitivas de aterros sanitário, mesmo com a utilização do método FID; Zhu et al. (2013) desenvolveram um método mais eficiente para a medição destes gases.
Procedimentos para redução das emissões de metano em aterros pós encerramento	
<ul style="list-style-type: none"> O Brasil possui potencial para aproveitamento de biogás para geração de energia elétrica, mas há pouca exploração; No país são implantadas camadas metanotróficas e oxidativas para controle de emissões de gases. 	<ul style="list-style-type: none"> Stegmann (2006) desenvolveu uma metodologia para controle de gases gerados em aterros desocupados na Alemanha; Houve aumento na implantação de projetos de aeração no país a fim de reduzir as emissões de aterro pós encerramento.

Fonte: A Autora, 2017.

- Espera-se que o monitoramento periódico de emissões atmosféricas provenientes dos aterros no Brasil traga vantagens, como a modernização das infraestruturas. Sistemas sem drenagem tendem a desaparecer, pois a predisposição é que nestes casos, haverá custos em longo prazo com medições na superfície. Outra vantagem ainda é que com a drenagem, torna-se mais possível a captação de gases e desta forma, reduz-se o impacto ambiental.
- Do outro lado, aterros mais modernos têm propensão a serem mais onerosos e com isso, as taxas de coleta e destino de resíduos sólidos urbanos tendem a aumentar. Isso pode trazer uma nova tendência ao país na diminuição da geração de resíduos e, conseqüentemente, menor impacto ambiental.
- De qualquer forma, vale salientar que o país tem alto potencial de aproveitamento de biogás para geração de energia que está sendo desperdiçado e com isso, emissões de metano não estão sendo evitadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas pesquisas foram realizadas a respeito do número de aterros encerrados e formas de monitoramento de gases pós encerramento, porém foram encontradas poucas referências bibliográficas sobre estes assuntos, principalmente no Brasil. Isso é um retrato de que o assunto está em fase inicial de estudo e ao mesmo tempo tem potencial para desenvolvimento, visto a importância do mesmo para o meio ambiente e a saúde pública.

O Brasil ainda convive com muitos lixões, mesmo após a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos completar oito anos. A urgência neste país é a erradicação dos lixões que poderia ocorrer em conjunto com a implantação de camadas metanotróficas e oxidativas, as quais retêm gases e são de baixo custo.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos possui outros conceitos e diretrizes que contribuiriam com a redução da geração de gases em aterros sanitários, como a utilização destes locais somente para rejeitos e o aproveitamento energético, mas o país caminha de forma muito lenta para que tais diretrizes sejam efetivamente implantadas.

O aterro sanitário é indispensável, pois mesmo com os riscos atrelados a ele e o desenvolvimento de tecnologias alternativas para evitá-lo, os rejeitos não têm alternativa de destinação viável no Brasil como em várias outras partes do mundo. Ao mesmo tempo, nossa sociedade está descartando resíduos em quantidades maiores que o necessário, o que agrava o problema.

Por este motivo, cabe aos especialistas da área pesquisar e aprimorar todas as formas de minimização de impactos gerados após encerramento na utilização desta

tecnologia. A Alemanha, como citado anteriormente, já utiliza modelos matemáticos para estimativa das emissões gasosas. Uma recomendação para os pesquisadores é o desenvolvimento de ferramentas semelhantes para aplicação no Brasil, visto que no país as variáveis envolvidas são diferentes: maior percentual de matéria orgânica e umidade no RSU, maior temperatura ambiente, pode ainda haver o despejo inadequado de resíduos perigosos junto com o RSU e o local de destinação pode não ser necessariamente um aterro sanitário, mas sim um aterro controlado ou um lixão.

Quanto às instituições governamentais, cabe a discussão para adoção de normas técnicas e legislações mais minuciosas voltadas especificamente ao monitoramento de aterro pós encerramento. Outro ponto que deveria se discutir com certa prioridade é a implantação de legislações que não permitam destinar resíduos aos aterros sem processo de estabilização biológica prévia e assim, se incentivaria a adoção de alternativas de destinação final mais adequadas para os resíduos sólidos urbanos, como o tratamento mecânico-biológico, a compostagem e a biodigestão.

Outra ação que poderia ser tomada pelas instituições governamentais é, a partir do desenvolvimento por parte dos especialistas de modelos matemáticos de estimativa de emissões, a elaboração de inventários anuais de emissões atmosféricas provenientes de aterros sanitários, controlados e lixões em fase de operação e já encerrados.

Além disso, o país tem grande potencial de geração de energia nos próprios aterros sanitários que não está sendo explorada de forma satisfatória. Cabem aqui mais incentivos financeiros e governamentais.

Desta forma o país passaria a controlar melhor as emissões provenientes da disposição final de resíduos sólidos urbanos e ainda poderia implantar metas de redução, pois há muitas ações em prol disso a serem implantadas.

Sabe-se que são muitas ações para se tomar de forma breve, mas o mais importante é que se inicie a discussão no Brasil sobre a importância deste impacto. A implantação de todas estas medidas certamente exigirão muitos anos, mas o mais importante é ter o ponto de partida: o monitoramento rotineiro das emissões de metano, para saber o tamanho do desafio.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. *Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos*. São Paulo, SP. 2013. 167 p.

ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. São Paulo, SP. 2014. 118 p.

ABRELPE. *Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil*. São Paulo, SP. 2015. 91 p.

AUDIBERT, J.L.; FERNANDES, F. Preliminary qualitative and quantitative assessment of gases from biodigestion of solid wastes in the landfill of Londrina, Paraná State, Brazil. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 35, n. 1, p. 45-52, jan. /mar. 2013.

BARLAZ, GREEN, CHANTON, GOLDSMITH, HATER. Evaluation of Biologically Active Cover For Mitigation of Landfill Gas Emissions. *Environ Sci. Technol.*, vol. 38 p. 4891 – 4899, 2004.

BORGATTO, A.V.A. *Estudo do Efeito Fibra e da Morfologia na Estabilidade de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos*. 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: < <https://goo.gl/InMD7m>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

BRASIL. *Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Lei. Brasília, DF, 02 ago. 2010. Disponível em: < <https://goo.gl/nTcnAR> >. Acesso em: 10 out. 2016.

BRASIL. *Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências*. Lei. Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: < goo.gl/yz49e9 >. Acesso em: 23 ago. 2018.

BRITO FILHO, L.F. *Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos*. 2005. 203 f. Dissertação (Mestrado). - Curso de Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: < <https://goo.gl/nv97mH> >. Acesso em: 11 abr. 2017.

DEPV. *Landfill Ordinance, Deponieverordnung – DepV, Germany: Decree on Landfills (Ordinance to Simplify the Landfill Law) in the Form of the Resolution of the Federal Cabinet*. Law. Berlin, Brandemburgo, April 27th 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/gMEbyW>>. Acesso em: 10 out. 2017.

FISCHER, C. *Municipal Waste Management in Germany*. European Environment Agency. Copenhagen Resource Institute. Fev, 2013. 18 p.

FREITAS, C. O.; DRAGO, E. A.; MAKIYA, I. K. Potencial de Geração Energética Através de Aterros: Estudos de Caso para a Viabilidade no Uso do Biogás. *XVIII Simpósio de Engenharia de Produção – Sustentabilidade na Cadeia de Suprimentos*. Bauru, p. 1-13, novembro/2011. Disponível em: <<https://goo.gl/c5xoR4>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

GERMANY. German Federal Minister for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety: Ordinance on Environmentally Compatible Storage of Waste from Human Settlements and on Biological Waste-Treatment Facilities. Berlin, Brandemburgo, 20 February 2001. Disponível em: <goo.gl/u7a0al>. Acesso em: 06 dez. 2016.

GLOBAL METHANE INITIATIVE. *Landfill Methane: Reducing Emissions, Advancing Recovery and Use Opportunities*. p. 1-4, setembro/ 2011. Disponível em: <goo.gl/G7R5pL>. Acesso em: 05 dez. 2016.

IPCC. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Genebra, Suíça: IPCC, 2014.

IPEA. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos – Relatório de Pesquisa*. Brasília, DF. 2012. 77 p.

LAUX, D.; REISER, M.; KRANERT, M. Pilot Project on in Situ Aerobisation of Old Landfills: Results from Konstanz Dorfweiher Landfill. *Journal of Physical Science and Application*, v. 4, n. 4, p. 248 – 254. April/2014.

LIU, LIU, LI, FU, GUO, MENG, LU, ZHAO, WANG. Health Risk Impacts Analysis of Fugitive Aromatic Compounds Emissions from the Working Face of a Municipal Solid Waste Landfill in China. *Science Direct Elsevier - Environment International*, v. 97, p. 15-27, October, 2016.

LOPES, JUCÁ, MARIANO, MACIEL. Camadas de Cobertura Metanotróficas como Alternativas para Gerenciamento de Gases de Efeito Estufa em Aterros Sanitários. *Holos*, Ano 25, Vol. 4, p. 3 – 18, 2010.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. *Estimativas Anuais de Emissões dos Gases do Efeito Estufa no Brasil*. 2 ed. Brasília, 2014. 161 p. Disponível em: <<https://goo.gl/ZbZAHv>>. Acesso em: 15 out. 2016.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. *Protocolo de Quioto*. Brasília, 2014. 29 p. Disponível em: <<http://goo.gl/IOmyBI>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

NORMA TÉCNICA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10157: Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, 1987

NORMA TÉCNICA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, 1997.

NORMA TÉCNICA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, 1992.

OBLADEN, N.L, OBLADEN, N.T.R, BARROS, K.R. *Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos*, Volume III. Série de Publicações Temáticas do CREA-PR, p. 64, dez. 2009.

PARANÁ (Estado). *Resolução CEMA n. 094, de 04 de novembro de 2014. Estabelece diretrizes e critérios orientadores para o licenciamento e outorga, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários, visando o controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e dá outras providências*. Resolução CEMA. PR, 04 nov. 2014.

PARANÁ (Estado). *Resolução SEMA n. 016, de 15 de abril de 2014. Define critérios para o Controle da Qualidade do Ar como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar da população e melhoria da qualidade de vida, com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do Estado de forma ambientalmente segura, e dá outras providências*. Resolução SEMA. Curitiba, PR, 26 mar. 2014.

RACHOR, GEBERT, GRÖNGRÖFT, PFEIFFER. Variability of Methane Emissions from an Old Landfill Over Different Time-Scales. *European Journal of Soil Science*, v. 64, n. 1, p. 16-26, February, 2013.

RETTENBERGER, G., MEZGER, H. *Der Deponiegashaushalt in Alttablagerungen – Leitfaden Deponiegas*. Materialien zur Altlastenbearbeitung. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1992. 150 p.

RITZKOWSKI, M., STEGMANN, R. Landfill Aeration Within the Scope of Post-Closure Care and its Completion. *Science Direct Elsevier - Waste management*, v. 33, n. 10, p. 2074-2082. October, 2013.

SOUSA, ARAUJO NETO, DINIZ, SILVA MELO. Recalques e Sólidos Voláteis Associados à Atividade Microbiana em um Lisímetro com Resíduos Sólidos Urbanos. *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*. 4 p. Fortaleza, CE, Setembro, 2015.

SOUZA, HORTTANAINEN, ANTONELLI, KLAUS, LINDINO, NOGUEIRA. Technical Potential of Electricity Production from Municipal Solid Waste Disposed in the Biggest Cities in Brazil: Landfill Gas, Biogas and Thermal Treatment. *Waste Management & Research*, v. 32, n. 10, p. 1015-1023. October, 2014.

STEGMANN, R. *Deponienachsorge. Handlungsoptionen, Dauer, Kosten und quantitative Kriterien für die Entlassung aus der Nachsorge*; Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben, Förderkennzeichen 20434327, [Abschlussbericht]. Umweltbundesamt, März, 2006.

TCHOBANOGLIOUS, G., THESSSEN, H., VIGIL, S. A., 1994, *Composicion y Caracteristicas, Generacion, Movimiento y Control de los Gases de Vertedero*. Gestion Integral de Resíduos Sólidos, v. 1, capítulo 11.4, Mc Graw Hill.

THEMELIS, N.J., ULLOA, P.A. Methane Generation in Landfills. *Science Direct Elsevier - Renewable Energy*, New York, NY, p. 1243-1257. August. 2006.

WU, YUE, HUANG, WANG, LIN, ZHANG, YAN. Spatio-temporal variation of landfill gas in pilot-scale semi-aerobic and anaerobic landfills over 5 years. *Science Direct Elsevier - Journal of Environmental Sciences*, v. 54, p. 288-297. April, 2017.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. *VDI 3860 Part 3: Measurement of landfill gas Measurement of methane at the landfill surface using the suction bell method*. November, 2017.

ZHU, LETZEL, REISER, KRANERT, BÄCHLIN, FLASSAK. A New Approach to Estimation of Methane Emission Rates from Landfills. *Science Direct Elsevier Waste Management*, Germany, v. 33, p. 2713-2719. September, 2013.

MATRIZ ENERGÉTICA MAIS LIMPA: SUGESTÃO DE
REESTRUTURAÇÃO PARA O PARQUE GERADOR BRASILEIRO
A PARTIR DE ÍNDICES ECONÔMICOS ENERGÉTICOS

NÍCOLAS LAZZARETTI BERHORST
ANDREAS FRIEDRICH GRAUER
DANIELA NEUFFER
ARNO PAULO SCHMITZ



MATRIZ ENERGÉTICA MAIS LIMPA: SUGESTÃO DE REESTRUTURAÇÃO PARA O PARQUE GERADOR BRASILEIRO A PARTIR DE ÍNDICES ECONÔMICOS ENERGÉTICOS

A discussão sobre a diminuição de emissões de gases agressivos ao planeta terra iniciou-se com a publicação do relatório da ONU, chamado *Our Common Future*, em 1987. Este relatório identifica as origens dos danos ao meio ambiente e os riscos à qualidade de vida que o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂) e metano, podem trazer. O meio ambiente possui um fluxo natural de emissão e captura destes gases. Contudo, desde o início da produção industrial, em diversos setores econômicos, os principais insumos são os combustíveis fósseis, os quais a sua utilização nos processos produtivos gera gases que desestabilizam o equilíbrio ambiental. O problema das emissões e concentração de carbono na atmosfera é, portanto, um problema do setor energético.

A meta estabelecida na última Conferência da ONU, sobre Mudanças Climáticas em Paris 2015 é manter o aquecimento global em no máximo 1,5 °C até 2100. Na União Europeia, o objetivo primário para o cumprimento desta meta é a redução de 80% das emissões de carbono até 2050, com base nas emissões de 1990 (EC, 2018). Portanto, trata-se de um desafio que marcará esta geração e que tem potencial para definir condições de vida das próximas gerações.

Uma entre outras soluções para este problema é eletrificar o uso primário da energia e substituir as fontes de energia fóssil (carvão, óleo diesel, querosene, gás natural), da matriz energética, por fontes energéticas livres de emissão mínima de carbono. Tais fontes já existem, e têm como exemplos: a eólica, solar, biogás, hídrica, nuclear, entre outras. Os principais problemas para esta substituição são as limitações técnicas de cada alternativa e os custos de construção. Além disso, as discussões públicas sobre o assunto estão recheadas de emoções, desconhecimentos, mitos e resistência da zona de conforto que não colaboram para um resultado pragmático.

A fim de fazer uma comparação sensata e estabelecer um plano de ação para o cumprimento da meta de redução de emissões, se faz necessária uma análise empírica das opções de geração energética, dentro de suas limitações e do meio ambiente da região em questão. Estas limitações regionais são, por exemplo, a disponibilidade de ventos para geração eólica, radiação solar para fotovoltaica e/ou preços acessíveis e eficiência satisfatória da técnica de conversão.

Este capítulo tem como objetivo contribuir para esta análise empírica ao apresentar a comparação de índices econômicos energéticos entre as formas de geração

de energia eólica, solar, biogás, gás natural ciclo combinado (GNCC), diesel e nuclear a fim de demonstrar o potencial do Brasil de descarbonizar sua matriz energética.

Os índices escolhidos são o Custo Nivelado de Energia Elétrica (LCOE) [R\$/kWh], Custo de Mitigação (CoM) [R\$/tCO₂] e Densidade Energética (DE) [kWh/m²]. Os resultados serão, por fim, utilizados para avaliar a matriz energética brasileira e estimar os custos de diminuição da emissão de gases de efeito estufa.

Os gases de efeito estufa emitidos hoje permanecerão na atmosfera por centenas de anos e, por isso, seus efeitos no clima não são identificados imediatamente. A concentração desses gases já está em níveis elevados, observando os dados históricos, e os efeitos da mudança climática tendem a ser cada vez mais nocivos. Assim, não há um meio termo, pois, para livrar as próximas gerações deste problema, a emissão destes gases de efeito estufa deve ser reduzida o quanto for possível, e, para isso, o setor energético deve se descarbonizar, e o setor produtivo deve se eletrificar, a fim de reduzir também as emissões das indústrias.

Com a comparação dos índices demonstrados neste capítulo, se espera aumentar o nível de conhecimento e a conscientização a respeito do problema da renovação da matriz energética. Isto para que se possa chegar a conclusões acuradas sobre o tema, bem como um planejamento energético racional e, ainda, auxiliar na resposta de questões como: quanto cada fonte de energia renovável pode produzir? qual o custo socioeconômico? quais são os riscos?

1. EMISSÕES DE CARBONO

A emissão de carbono na atmosfera está diretamente ligada à composição da matriz energética. Assim, se ela for concentrada em alternativas pouco emissoras de gases, se reduz drasticamente o problema da quantidade elevada de CO₂ emitido. O desbalanceamento ou aumento da concentração de CO₂ ocorreu nos últimos séculos da história do planeta terra. Mais especificamente, a partir de 1769, quando James Watt (na Inglaterra) desenvolveu o condensador para o motor movido a carvão, fato que possibilitou elevado aumento da eficiência energética ao reaproveitar o calor do vapor e consumir menos combustível. Isto motivou a Inglaterra a extrair quantidades cada vez mais elevadas de carvão e, conseqüentemente, iniciou a produção industrial em larga escala. Este cenário provocou uma reação em cadeia quanto ao consumo de combustíveis fósseis, e conseqüente aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, tal como uma função exponencial, conforme demonstra a Figura 1 (MACKAY, 2008).

Apesar da nítida aceleração da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e da grande divulgação dos perigos do aquecimento global e mudanças

climáticas, existem opiniões contrárias à maneira como o problema tem sido divulgado para a população e de como os recursos financeiros têm sido aplicados para resolver o problema.

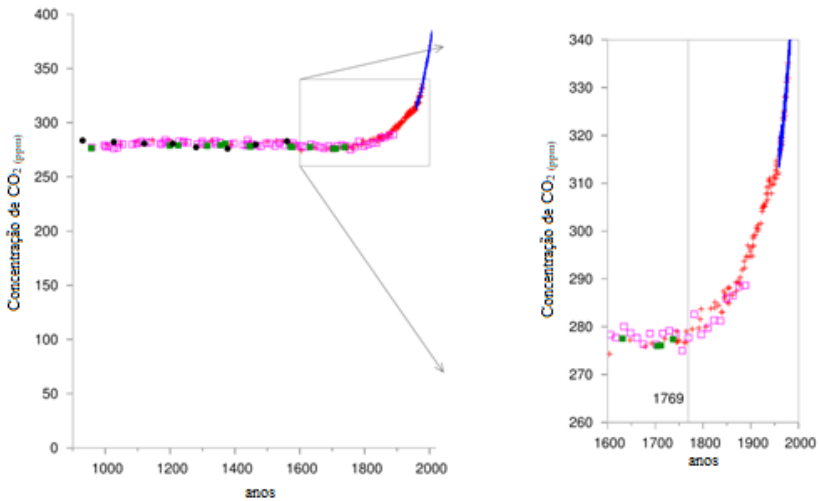


Figura 1 – Concentração de CO₂ nos últimos 1100 anos

Fonte: (MACKEY, 2008)

Tais críticas surgem a partir da maneira como a mudança climática é comumente explicada, a qual, somada ao desconhecimento empírico da população, resulta em medo e desinformação. Isto pode ser utilizado como insumo em favor de certos interesses contrários ao enfrentamento do problema climático, que julgam simplesmente que não existe problema algum.

O aquecimento global é considerado um fato irrefutável para grande parte da comunidade científica, mas, mesmo assim, parte da população, do empresariado e de alguns governos, são incrédulos. A origem dos dados apresentados, em defesa do investimento no combate ao aquecimento global, é ainda questionada e, muitas vezes, de forma exacerbada. Outra questão importante é o fato de, comumente, se apresentar apenas o lado negativo do aquecimento global. Normalmente, se ignoram dados que podem ser entendidos como algo positivo, sob certas circunstâncias, tais como: aumento de terras disponíveis para produção de alimentos, diminuição de mortes por congelamento e redução nos gastos e externalidades ligadas com aquecimento (GIAVER, 2011).

Adicionalmente, por vezes, se argumenta que o assunto se transformou em uma nova indústria, da qual os maiores beneficiários são países desenvolvidos. Nestas nações,

o desenvolvimento econômico está correlacionado com a evolução histórica do uso e exploração ilimitados de combustíveis fósseis e que pode, ainda, ser usado como uma maneira de dificultar o crescimento de países emergentes, encarados como possíveis concorrentes.

Alternativamente, se alega que a mudança climática é uma característica intrínseca do planeta, da qual os seres humanos têm pouca influência e, por isso, não se faz necessária tal preocupação. Considera-se, ainda, que os montantes de recursos financeiros gastos atualmente para cumprir as condições de controle do aquecimento global, como, por exemplo, os propostos pelo Protocolo de Kyoto, são ineficazes e poderiam ser aplicados em melhoria na qualidade de vida da população mundial, tais como (LOMBORG, 1998):

- i) prevenção de doenças e má nutrição,
- ii) garantia de livre comércio e paz entre países,
- iii) seguros de saúde,
- iv) educação,
- v) melhoria sanitária e purificação de água e
- vi) investimento em pesquisa e desenvolvimento na geração de energias limpas, sendo este último item o principal fomentador de inovação tecnológica e maneira de diminuir, significativamente, as emissões de carbono, no médio prazo.

2. MENSURAÇÃO ENERGÉTICA

A energia elétrica é considerada uma *commodity*. É um produto que pode ser comercializado entre agentes econômicos e utilizado como insumo ou produto final, sem relevante distinção de qualidade, estrutura ou características por quem ou onde foi produzido.

Existem três tipos de energia: primária, final e útil. Neste capítulo, a discussão é direcionada para a energia primária, que é o primeiro passo – potencial energético na geração. A energia final é produto da conversão da energia primária para a energia pronta para o consumo, como eletricidade, gasolina, gás de cozinha entre outros. Complementarmente, a energia útil é o serviço que a energia final realiza, como o transporte automotivo ou aquecimento de edifícios.

A unidade energética é medida por duas maneiras: energia e potência. A energia é equivalente ao volume de elétrons que podem ser movimentados e é comumente medida em, por exemplo, joules (J) e quilowatt-hora (kWh). Já um watts (W) equivale a um joule por segundo, o que descreve a potência. A potência, ou *power*, em inglês, é a taxa com que a energia é gerada ou consumida. Analogamente, ela pode ser medida, por exemplo, em watts (W) ou kWh por dia (kWh / dia).

A Figura 2 traz uma ilustração das origens da energia primária brasileira, como ela é transformada para energia final e quais as principais utilidades como energia útil.

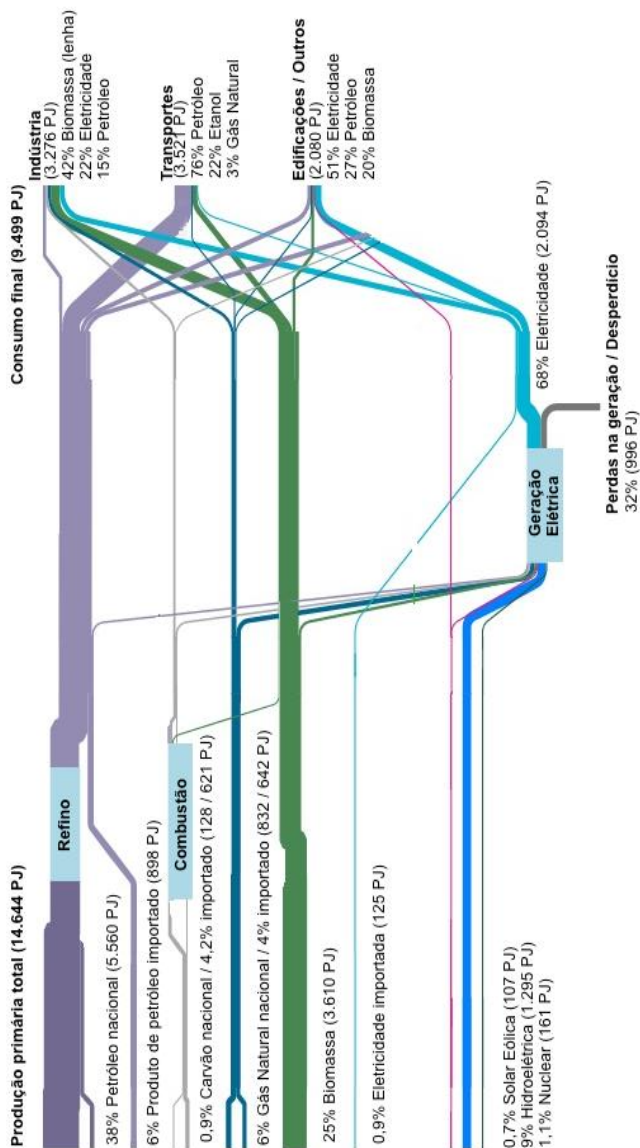


Figura 2 – Diagrama de Sankey do setor energético do Brasil em 2015.

Fonte: Adaptado de (IEA, 2015)

Primeiramente, o diagrama está medido em petajoules (PJ), ou seja, ilustra a quantidade de energia utilizada em um ano, e não o quanto rápido ela foi gerada ou consumida. É possível notar que, dos 14.644 PJ produzidos (canto superior esquerdo), 38% são oriundos do petróleo (diesel, gasolina), 10% do gás natural, 25% de biomassa (cana-de-açúcar, lenha), 9% da água (hidroelétricas) e apenas 1% de energia nuclear (fissão), 0,9 % de carvão e 0,7% de outros (energias renováveis) (IEA, 2015).

Ao contrário de outras formas de geração energética, as energias eólica e solar fotovoltaica não precisam ser transformadas, pois sua produção é energia em forma de energia final (eletricidade), direto para o consumo (HEAL, 2010). Assim, este diagrama não considera que as fontes fósseis são convertidas em eletricidade com eficiência de aproximadamente 30%. Contudo, mesmo se a parcela destas duas fontes renováveis fosse dividida por 30% a fim de melhorar a comparação, sua representatividade permanece insignificante, em 2,1%.

Adicionalmente, é possível observar que os 9.499 PJ de energia útil do Brasil (canto superior direito) são divididos em três partes, de aproximadas equivalências, conforme demonstrado pela Figura 3.

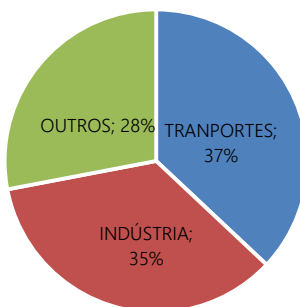


Figura 3 – Consumo energético do Brasil por setor em 2015

Fonte: Adaptado de IEA, 2016.

O setor de transportes representa uma parcela de 37%, dos quais 76% são referentes à fonte fóssil. Em segundo lugar, a indústria consome 35% do total, movidos, principalmente, por caldeiras de combustão de biomassa. Em terceiro lugar encontram-se o comércio, residências e iluminação pública (outros), que consomem 28% do total e são movidos, principalmente, pela energia em forma de eletricidade (51%).

Pode-se concluir que a eficácia energética do Brasil é de 35% (diferença de 65% entre 14.644 PJ de energia primária e 9.499 PJ de energia útil) e que o setor de

transportes é o maior emissor de CO₂ e poluidor do ar, pois possui a maior parcela de consumo de combustíveis fósseis.

3. SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é definido pela rede elétrica, *energy grid* em inglês, que conecta os geradores de energia com os consumidores brasileiros através de 100.000 km de linhas de transmissão, de 138 kV, até, aproximadamente, 765 kV. A cobertura se estende por 98% do Brasil, com exceção de parte do estado do Amazonas, e é considerada a maior do mundo (TAESA, 2018).

A proporção de energia fornecida ao SIN é ilustrada na Tabela 1 e denominada Matriz100%, que, diferentemente do diagrama apresentado na Figura 2, apenas consolida as fontes de energia do sistema de fornecimento de eletricidade. Não é possível medir (pelo SIN) a quantidade de energia consumida pelo setor de transportes movido a gasolina, por exemplo.

Tabela 1 – Proporção de energia fornecida ao SIN em 2017

Tipo Usina	Margem
Hidrelétricas exclusive Itaipu	57%
Hidroelétrica Itaipu	15%
Gás Natural	10%
Eólicas	7%
Nuclear	3%
Carvão	3%
Resíduos Processos Industriais	2%
Óleo Diesel / Combustível	2%
Biomassas	2%
Total	100%

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2018)

Ao estudar o cenário de geração de energia elétrica, fornecido ao SIN no Brasil, em 2017, é possível comparar a representatividade de cada fonte de energia para o fornecimento nacional. A representatividade da energia hídrica, principalmente da usina

hidroelétrica Itaipu, a qual é a maior geradora de energia do seu tipo do mundo, construída binacionalmente entre o Brasil e Paraguai na região de Foz do Iguaçu - PR, sozinha, é impressionante. A geração hídrica representa 80% do fornecimento de eletricidade no período. Percebe-se, também, que a fonte de energia solar fotovoltaica sequer é elencada, bem como a baixa proporção atribuída à fonte carvão e óleo diesel, em comparação com outras fontes fósseis (ANEEL, 2018).

Portanto, conclui-se que no setor das termoeletricas o principal combustível é o gás natural e que o carvão e o óleo diesel foram pouco usados no período analisado. Isso se explica pelo fato de que os geradores de energia são remunerados pelo custo corrente de geração. Assim, as fontes de energia mais caras, como o óleo diesel, são acionadas para ofertar energia ao sistema apenas quando não há fontes mais baratas e despacháveis² para suprir a demanda de consumo energético (HEAL, 2010).

Desta forma, é possível interpretar que fontes renováveis de energia, por não necessitarem de compra de combustível para geração, seriam as mais baratas e utilizadas sempre como primeira opção.

4. MENSURAÇÃO ECONÔMICA³

A mensuração econômica da energia pode ser expressa de diversas formas. Ela pode ser cobrada em R\$ por kWh, como é feito na conta de luz, em R\$ por barril de petróleo, ou, ainda, em metros cúbicos de gás natural. Pode ser também estimada em R\$ por toneladas de CO₂ que deixaram de ser emitidos na atmosfera, como é calculado o Custo de Mitigação (CoM). Alternativamente, pode ser calculada em R\$ por kWh de energia elétrica produzida, que equivale ao Custo Nivelado de Energia Elétrica (LCOE) (HEAL, 2010).

Este estudo se concentra nas seguintes fontes de energia: gás natural, carvão, diesel, eólica, nuclear, solar fotovoltaica e biogás.

² Energia despachável é aquela não intermitente e confiável - pode ser produzida e fornecida à rede a qualquer momento, independente de condições climáticas. As energias renováveis fotovoltaica e eólica não são despacháveis, pois a geração de energia depende de recursos naturais que, por ora, não podem ser armazenados.

³ Muitos dados utilizados para este trabalho são contabilizados em moedas estrangeiras, principalmente, o dólar americano (USD) e euro (EUR). Para a conversão, se utilizou a taxa de câmbio comercial de fechamento divulgada pelo Banco Central do Brasil (BACEN), do dia 30.03.2018: R\$ 3,30 e R\$ 4,07, respectivamente.

A energia hídrica não foi selecionada, pois se considera que o país já está com uma concentração expressiva nesta fonte.

Para apurar os custos de capital para construção das plantas de geração de energia se utilizou a base de dados do Departamento de Energia dos Estados Unidos (EIA, 2016), na qual se identifica o montante de recursos financeiros necessários para instalar e operar cada kW de diversas alternativas de fontes energéticas. Estes dados são essenciais para o cálculo do LCOE por fonte energética, conforme apresentado a seguir. A fim de consultar o fator de capacidade – parcela do tempo em que a planta produz energia em sua máxima capacidade – e para comparar os resultados obtidos com outra fonte de pesquisa, se utilizou a base de dados do *Open Energy Information* (OPENEI, 2018).

O método de análise se baseou nos trabalhos de

- i) David MacKey em seu livro aberto online para pesquisa, *Sustainable Energy — without the hot air* (MACKEY, 2008),
- ii) Em relatórios de densidade energética de Vaclav Smil (SMIL, 2010) e
- iii) No material do curso *Energy Within Environmental Constraints* ministrado por David Keith (HEAL, 2010).

Como fonte de dados de características do território e do setor energético brasileiro, se utilizou a plataforma do Banco Mundial (TWB, 2015) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017).

5. CÁLCULO DOS ÍNDICES ECONÔMICOS ENERGÉTICOS

5.1. CUSTO NIVELADO DE ENERGIA ELÉTRICA (LCOE)

O Custo Nivelado de Energia Elétrica (LCOE) é usado para calcular o custo da energia produzida e é medido em unidades monetárias por quantidade de energia produzida, conforme Equação 1;

$$\text{LCOE} \left[\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\text{CAPEX} \left[\frac{\text{R\$}}{\text{kW}} \right] \times \text{CCF} \left[\frac{\%}{\text{ano}} \right] + \text{FOM} \left[\frac{\text{R\$}}{\text{kWano}} \right]}{8.760 \left[\frac{\text{h}}{\text{ano}} \right] \times \text{FatorCapacidade}[\%]} + \text{VOM} \left[\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \right] \\
 + \frac{\text{Combustível} \left[\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \right]}{\text{Eficiência}[\%]} \quad (1)$$

Em que:

CAPEX = Investimento de capital inicial;

CCF = Fator de financiamento estimado constante em 15% a.a.;

FOM = Despesas fixas de operação;

Fator de Capacidade = Parcela do tempo em que a planta gera energia na potência máxima;

Quantidade de horas em um ano = 8.760;

VOM = Despesas variáveis de operação;

Eficiência = % em que a energia potencial do recurso energético se transforma em eletricidade;

LCOE = Custo nivelado de energia elétrica;

Combustível = Preço do combustível por unidade de energia

Este cálculo mostra uma média do custo ao longo do tempo e, também, o preço estimado que a energia deve ser cobrada, para que unidade geradora de energia não gere prejuízo. Por isso, é usualmente usado como índice para comparação de diferentes fontes energéticas. Contudo, ignora externalidades ambientais e incertezas do futuro.

Além de calcular o LCOE para cada uma das fontes energéticas em questão, para efeito de comparação e estimativa de densidade energética, calculou-se também o LCOET, que equivale à parcela de geração de eletricidade de fontes fósseis do SIN, também chamada de MatrizT, através de uma média ponderada, segundo Equação (2);

$$LCOE_T = LCOE_{GN} \cdot xi_{GN} + LCOE_{Ca} \cdot xi_{Ca} + LCOE_{Di} \cdot xi_{Di} \quad (2)$$

Em que:

LCOET = LCOE médio ponderado parcela de fonte fóssil do SIN (gás natural, carvão e óleo diesel);

LCOE_{GN}, Ca, Di = LCOE das usinas movidas à gás natural, carvão e diesel, respectivamente

i_{GN} = Proporção da produção de termoeletricidade movida a gás natural na MatrizT;

i_{Ca} = Proporção da produção de termoeletricidade movida a carvão na MatrizT; e

i_{Di} = Proporção da produção de termoeletricidade movida a diesel na MatrizT.

Além do LCOET, a mesma equação de média ponderada foi utilizada para a estimativa da EmissãoT e da DET - média ponderada da emissão de CO₂ e da densidade energética (DE), da parcela de eletricidade oriunda de fonte fóssil do SIN, chamada neste trabalho de MatrizT (Quadro 1).

5.2. CUSTO DE MITIGAÇÃO (COM)

O Custo de Mitigação (CoM) foi utilizado neste trabalho para medir o custo de redução na emissão de CO₂, em toneladas (t), de acordo com a Equação (3);

$$\text{CoM} \left[\frac{\text{R\$}}{\text{tCO}_2} \right] = (\text{LCOE}_n - \text{LCOE}_T) \left[\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \right] / (\text{Emiss\~{a}o}_T - \text{Emiss\~{a}o}_n) \left[\frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} \right] \quad (3)$$

Em que:

LCOE_n = Custo da opção mais limpa, com menor índice de emissão de CO₂;

LCOE_t = Custo da opção menos limpa, com maior índice de emissão de CO₂;

Emissãot = Fator poluidor da opção menos limpa

Emissãon = Fator poluidor da opção mais limpa

Este cálculo foi feito com o objetivo de estimar o custo de redução de emissões para substituir a matriz de energia fóssil corrente (MatrizT = 14,2%), conforme Tabela 1 e Equação 4. As alternativas escolhidas são as renováveis (eólica, solar, biogás), nuclear e gás natural.

$$\text{Emiss\~{a}o}_T \left[\frac{\text{tCO}_2}{\text{kWh}} \right] = i_{GN}[\%] \times \text{Emiss\~{a}o}_{GN} + i_{Ca} \times \text{Emiss\~{a}o}_{Ca} + i_{Di} \times \text{Emiss\~{a}o}_{Di} \quad (5)$$

Portanto, se calculou o CoM das alternativas supracitadas contra a média ponderada calculada para a parcela de fonte fóssil da matriz energética do SIN (MatrizT).

As fontes hídricas, óleo diesel e carvão foram descartadas como opções para este cálculo, pois se acredita não haver interesse em aumentar suas representatividades no parque gerador brasileiro.

O resultado do CoM pode ser positivo ou negativo. Se for positivo, equivale ao montante de dinheiro que deve ser gasto (despesa) ao evitar a emissão de cada tonelada de CO₂. Caso contrário, se for negativo, equivale ao montante de recursos financeiros que se economiza (receita) ao evitar a emissão de cada tonelada de CO₂.

Quadro 1 – Composição MatrizT

Tipo Usina	Parcela do SIN
Gás Natural	9,8%
Carvão	2,7%
Óleo Diesel	1,7%
Total	14,2%

Fonte: ANEEL, 2017

Comumente, em um sistema desenvolvido, o CoM conta com valores maiores do que zero. Contudo, é possível que o portfólio do parque gerador de um país seja antigo e/ou ineficiente, o que pode resultar em um CoM menor do que zero, ou seja, um ganho dos dois lados – resultado positivo em termos financeiros e redução de emissões de gases de efeito estufa.

5.3. DENSIDADE ENERGÉTICA (DE)

A Densidade Energética (DE) indica a quantidade de área de terra necessária para se produzir determinada quantidade de energia. Este indicador é importante, pois as fontes renováveis são caracterizadas por uma baixa densidade energética, o que pode limitar sua escala de utilização e prejudicar seu sucesso em países pequenos e/ou com pouca área disponível, por exemplo. Assim, a discussão da renovação do parque gerador nacional deve ser pautada com base na densidade energética para cada alternativa.

Neste trabalho, este índice não foi calculado, mas retirado de uma recente publicação da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2017), e foi convertido para as unidades kW/m², conforme a Equação (5).

$$\left(DE \left[\frac{\text{m}^2}{\text{MWh}} \right] \times 8760 \text{h} \times \frac{[\text{MW}]}{1000[\text{kW}]} \right)^{-1} = DE \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right] \quad (5)$$

A DE foi convertida para comparação entre as alternativas escolhidas e, também, para estimar, com base na Tabela 1, a área do Brasil comprometida com o fornecimento integral de energia elétrica ao SIN (Matriz100%) e para sua parcela de fornecimento movida a combustíveis fósseis (MatrizT)

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. CUSTO NIVELADO DE ENERGIA ELÉTRICA (LCOE)

O Custo Nivelado de Energia Elétrica (LCOE) representa o custo médio em R\$, por unidade de energia produzida, em kWh. É a ferramenta comumente utilizada para análises de comparação econômicas entre alternativas de geração de energia. As condições geográficas podem alterar a eficiência de uma fonte de energia renovável, assim, o LCOE ajuda na tomada de decisão focada na eficiência dos investimentos.

O Quadro 2 ilustra os fatores do cálculo deste índice e seu resultado na última linha.

Quadro 2 – Cálculo do LCOE por fonte energética

Item	GNCC	Biogás	Eólica	Carvão	Nuclear	FV	Óleo Diesel
CAPEX [$\frac{R\$}{kW}$]	3.643	5.357	6.194	15.2460	19.618	8.725	3.631
CCF [$\frac{\%}{a}$]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
FOM [$\frac{R\$}{kWano}$]	33,00	467,51	131,01	167,97	330,92	78,87	184,80
Fator Capacidade [%]	0,73	0,84	0,38	0,93	0,90	0,23	0,70
VOM [$\frac{R\$}{kWh}$]	0,01	-	-	0,02	0,01	-	0,02
Combustível [$\frac{R\$}{kWh}$]	0,03	-	-	0,01	0,01	-	2,51
Eficiência [%]	0,45	-	-	0,32	0,35	-	0,35
LCOE [$\frac{R\$}{kWh}$]	0,16	0,17	0,32	0,36	0,44	0,69	7,30

Fonte: (EIA, 2016), (OPENEI, 2018), (HEAL, 2010), (BRAYER, 2010)

O LCOE leva em conta as despesas operacionais da alternativa geradora. Assim, seu resultado é diretamente proporcional ao preço de aquisição do combustível. Por exemplo, observa-se que o LCOE mais expressivo é o da alternativa movida a óleo diesel, devido ao preço de aquisição e do potencial energético do recurso para operação. Se comparado com a usina de gás natural (GNCC), é possível notar que, o custo de construção desta (CAPEX) é igual ao da usina de diesel, no entanto, seu combustível é muito mais barato, o que influencia expressivamente no LCOE desta alternativa.

As fontes renováveis, como eólica e solar fotovoltaica, são caracterizadas por elevado custo de construção (tecnologia custosa) e baixo fator de capacidade (dependência de recursos naturais). Contudo, dispensam aquisição de combustível. Essencialmente, o proprietário de uma usina de energia renovável faz um investimento inicial elevado e produz eletricidade sem necessidade de outro processo de conversão energético ou tratamento ao longo da vida útil dos equipamentos, dos quais os custos de manutenção e substituição estão computados dentro das Despesas fixas de operação (FOM).

As fontes renováveis não são, portanto, despacháveis. Ou seja, não se pode aumentar o fator de capacidade de geração unilateralmente. Desta forma, uma opção interessante é a nuclear, pois é uma fonte de energia despachável e, como destacado adiante, não emite carbono, e possui alta densidade energética. Contudo, possui elevado LCOE de R\$ 0,44 por kWh. Mesmo assim, seu LCOE não é maior que o da energia solar fotovoltaica (FV), que registrou R\$ 0,69 por kWh.

Para efeito de comparação, a tarifa média cobrada pelas concessionárias do Brasil, com impostos, em 2017, foi de R\$ 0,58 por kWh para o consumo final (ANEEL, 2018)

De acordo com a comparação gráfica dos LCOE, entre as alternativas, é possível perceber que a fonte GNCC possui o menor índice e, portanto, o melhor custo-benefício. Logo, por isso representa a maior parcela de representatividade da MatrizT (65,5%).

Este trabalho utilizou o LCOE de cada alternativa para calcular o Custo de Mitigação (CoM) da substituição da MatrizT por uma opção mais limpa e eficiente, conforme será descrito no item seguinte. Para isso, foi calculado também o LCOET, que equivale a uma média ponderada do custo por unidade energia da MatrizT do SIN, descrito na Quadro 3.

Quadro 3 – Cálculo do LCOET

Tipo (n)	Margem	in	LCOEn [$\frac{R\$}{kWh}$]	LCOET [$\frac{R\$}{kWh}$]
GN	9,8%	69,1%	0,16	0,11
Carvão	2,7%	19,1%	0,36	0,07
Óleo Diesel	1,7%	11,8%	7,30	0,86
TOTAL	14,2%	100%	-	1,04

Fonte: O autor (2018)

Os resultados apresentam o valor expressivo de R\$ 1,04 por kWh de eletricidade, fornecido ao SIN por recursos energéticos de fontes fósseis (MatrizT). A Figura 4 destaca que a responsável por este expressivo valor foi a fonte de óleo diesel, a mais cara de todas as alternativas. Apesar de sua baixa representatividade, de 22,6%, como ilustrado na Tabela 4, o elevado custo da energia do óleo diesel é o principal componente do custo de 1,04 R\$ / kWh da MatrizT, conforme Figura 5.

Para validar os índices financeiros calculados e apresentados, uma comparação foi feita entre a base de dados da *Open Energy Information* (min- e maxOPENEI), que ilustra valores mínimos e máximos, e os resultados obtidos neste trabalho (LCOEn), ilustrados na Figura 6.

A Figura 6 destaca que os LCOE calculados estão dentro do intervalo dos valores da base de dados da plataforma OPENEI e, assim, em consonância com a realidade. Vale dizer que este trabalho não considerou despesas extras comuns, que diminuem a eficiência de investimentos e execução de projetos de engenharia, conhecidas como “Custo Brasil”, como, por exemplo: altas taxas de tributação de equipamentos importados,

escassez de mão-de-obra especializada, ineficiência de recursos monetários, desvios (corrupção e sonegação), atrasos em obras entre outros.

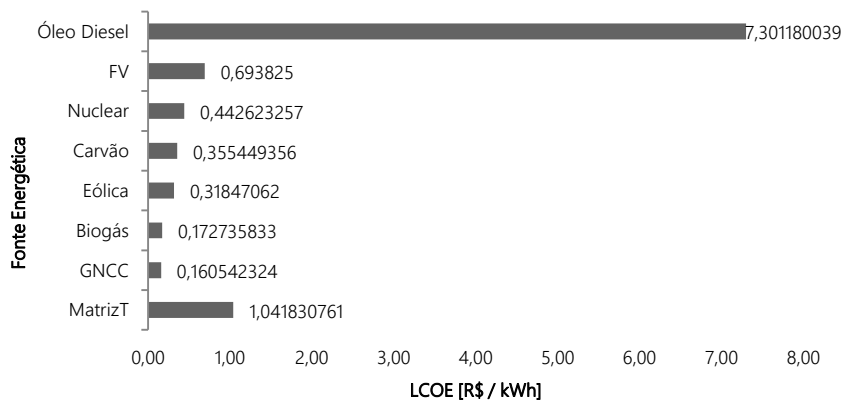


Figura 4 – LCOE por fonte energética
Fonte: O autor (2018)

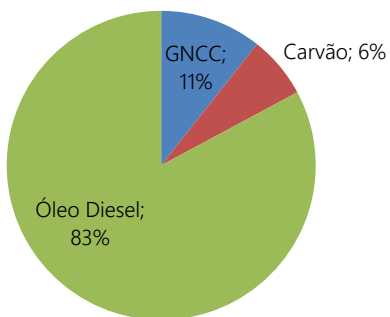


Figura 5 – Composição do LCOET
Fonte: O autor (2018)

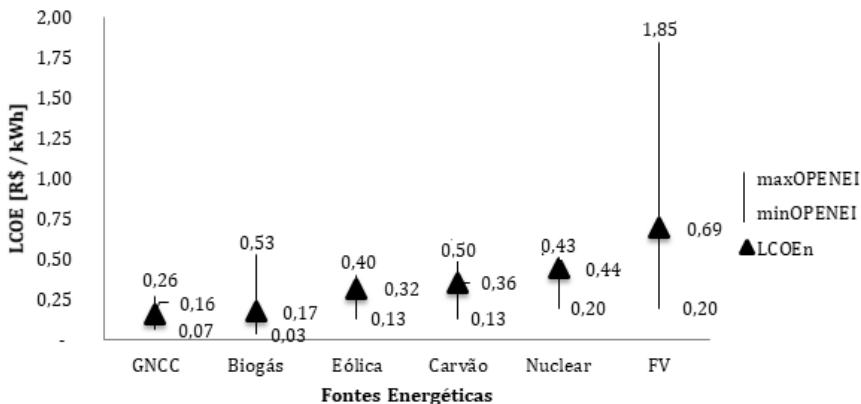


Figura 6 – Comparação do LCOEn calculado com a base de dados do OPENEI
 Fonte: Adaptado de OPENEI (2018).

6.2. CUSTO DE MITIGAÇÃO (CoM)

O Custo de Mitigação (CoM) compara duas alternativas e estabelece o montante de recursos financeiros gastos ou economizados, para evitar emissões em tCO₂ na atmosfera. O objetivo deste trabalho é calcular este índice para substituir a fração fóssil da matriz energética brasileira (MatrizT) por alternativas mais limpas. Para isso, foi necessário estimar a emissão média desta MatrizT, conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Cálculo EmissãoT

	Diesel	Carvão	GNCC	Matriz T
in	11,8%	19,1%	69,1%	100,0%
Energia $\left[\frac{GJ}{kg}\right]$	0,046	0,027	0,052	0,047
Energia $\left[\frac{kWh}{t}\right]$	12.788	7.506	14.456	12.932
Emissão $\left[\frac{tCO_2}{t}\right]$	3,2	2,2	2,6	2,6
Emissão $\left[\frac{tCO_2}{kWh}\right]$	0,00025	0,00029	0,00018	0,00020

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2017), (HEAL, 2010)

Vale lembrar que o CoM não contempla as emissões na produção dos equipamentos de geração de energia. Afinal, as diversas fábricas, que realizam a

produção das peças e a mão de obra que faz a instalação, consomem energia da matriz energética e, assim, contribuem para poluição do ar e aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Este trabalho considera apenas as emissões da operação das usinas e, por isso, considerou as fontes eólica, fotovoltaica, nuclear e biomassa como emissão nula.

Ao analisar a Figura 7, se tem a comparação ilustrativa dos índices de emissões de CO₂ por kWh de energia gerada. O combustível carvão é o mais poluidor, com índice de quase 0,3 kg de CO₂ emitidos por kWh. Em segundo lugar está o diesel, e, em terceira posição a média ponderada da MatrizT. O valor de emissão da MatrizT não está tão discrepante dos outros, pois, entre os combustíveis fósseis analisados, os índices de emissões são semelhantes. Além disso, a maior proporção é do GNCC, de 65,5%, que constitui o recurso menos poluidor do grupo

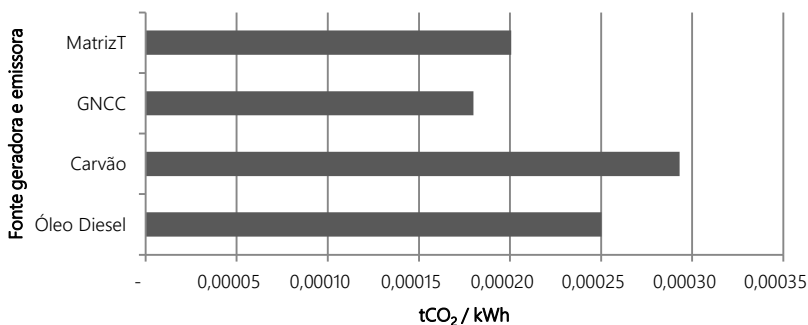


Figura 7 – Emissão de CO₂ – diesel, carvão, GNCC e média ponderada da MatrizT
Fonte: (ANEEL, 2017), (HEAL, 2010), O autor (2018).

O custo de mitigação, para substituição da MatrizT, por cada uma das alternativas compõe o Quadro 5, e sua ilustração na Figura 8.

Em todos os casos, o CoM é menor do que zero. Isso quer dizer que se trata de uma receita monetária, com redução da emissão de CO₂ na atmosfera. Em outras palavras, um cenário que orienta a política de planejamento energético no sentido de reconversão da matriz energética. Isso se dá, pois o LCOET é muito mais elevado que o LCOE de qualquer alternativa energética (de 50% a 500% maior). Como a fórmula do CoM (Equação 4) é uma fração entre a diferença do custo da energia mais cara e da mais barata, com a diferença de níveis de emissão da opção energética mais poluidora e menos poluidora, é de se esperar que a fonte energética com menor nível de emissão de tCO₂ por kWh de eletricidade gerada seja mais cara, e o CoM seja positivo, ou seja, se deve gastar dinheiro para deixar a geração de energia mais limpa.

Quadro 5 – CoM entre alternativas escolhidas versus MatrizT

Tipo (n)	LCOEn [R\$ /kWh]	Emissãon [tCO ₂ /kWh]	LCOET [R\$ /kWh]	EmissãonT [tCO ₂ /kWh]	CoM [R\$ /tCO ₂]
Biogás	0,17	0	1,04	0,0020	-4.331
Eólica	0,32	0			-3.605
FV	0,69	0			-1.734
Nuclear	0,44	0			-2.986
GNCC	0,16	0,00018			-42.412

Fonte: O autor (2018)

No entanto, não foi o que se encontrou neste estudo, pois se identificou que a parcela de geração de energia fóssil possui um custo maior do que todas as fontes energéticas escolhidas para o cálculo do CoM, o que resultou em CoM menores do que zero, com especial destaque para a opção energética do gás natural (GNCC), conforme Figura 8.

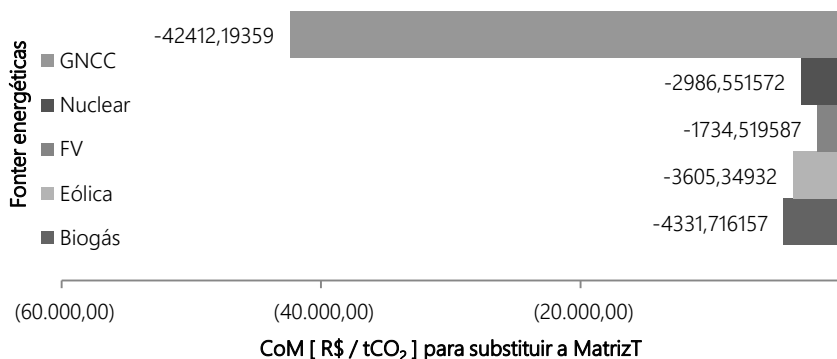


Figura 8 – Comparação entre CoM

Fonte: O autor (2018)

A MatrizT é composta de 9,8% de GNCC e 2,7% de carvão e diesel juntos. O impacto de substituir a parcela de carvão e diesel por GNCC é expressivo, conforme demonstrado na Figura 8, e registra a melhor opção em relação ao custo-benefício.

Assim, a matriz energética brasileira emitiria menos gases de efeito estufa, e, para cada tonelada não emitida de CO₂ economizaria, ainda, aproximadamente R\$ 42 mil.

Importante ressaltar que as demais opções de geração de energia estão muito próximas uma das outras, inclusive o biogás, que se encontra em segundo lugar, com economia de R\$ 4,3 mil por tCO₂ não emitida.

6.3. DENSIDADE ENERGÉTICA (DE)

A Densidade Energética (DE) se faz importante na discussão da renovação do portfólio da matriz energética nacional, pois as energias renováveis são caracterizadas por elevada necessidade de terra para geração de energia, o que pode vir a prejudicar países de pequeno porte. Países que não possuem vastos territórios podem enfrentar problemas para encontrar áreas disponíveis e desocupadas ou grandes o suficiente para dar escala a um projeto de geração de energia. Isso pode levar estes países a não fomentar a renovação da matriz energética ou optar pela importação de eletricidade (MACKEY, 2006)

Ao analisar o Quadro 6 e sua representação na Figura 9, é possível identificar a energia nuclear como a opção com maior concentração de energia por área entre as diferentes fontes de energia. Isso se dá pela característica de seu combustível principal, o urânio (U-235 e U-238), do qual uma pequena quantidade pode gerar grandes quantidades de energia térmica, dado seu processo técnico de produção.

Pode-se identificar ainda que, no geral, a média ponderada da Matriz100% do Brasil é baixa, fato esse que se deve às grandes áreas inundadas para a geração de energia hídrica, maior componente no fornecimento de eletricidade. Para comparar, se vê que a MatrizT possui uma DE quatro vezes maior, devido aos bons índices do GNCC e do carvão.

Este trabalho considerou parques solares fotovoltaicos de 20 MW de potência instalada e, para as eólicas, se utilizou a área ocupada pela torre que suporta as hélices e não a dimensão total do parque eólico. A justificativa da escolha da potência instalada para parques solares de 20 MW se deu com base no objetivo de analisar o portfólio de geração energética a escala nacional, e não a geração de energia distribuída a nível residencial. Já para as eólicas, se decidiu trabalhar com a área ocupada apenas pelas torres, pois é possível conciliar produção agropecuária dentro com um parque eólico.

Com estes índices demonstrados pelo Quadro 6 e Figura 9, se faz possível medir a aplicabilidade no território brasileiro. Para isso, montou-se o Quadro 7, no qual se encontram as dimensões de terras, do SIN e da matriz energética de origem fóssil do Brasil. Vale dizer que este consumo energético (14.644 PJ) é o total do país, inclusive da indústria e transportes, conforme diagrama da Figura 2 (IEA, 2018), não apenas do fornecimento de eletricidade ao SIN.

Quadro 6 – Densidade Energética

	DE [$\frac{m^2}{MWh}$]	DE [$\frac{kW}{m^2}$]
Biogás	4	0,07
Eólica	1,00	0,11
PV	10,00	0,01
Nuclear	0,10	1,14
Diesel	0,40	0,29
Carvão	0,20	0,57
GNCC	0,20	0,57
Matriz 100%	N.A.	0,15
Matriz fóssil	N.A.	0,54

Fonte: (IRENA, 2017)

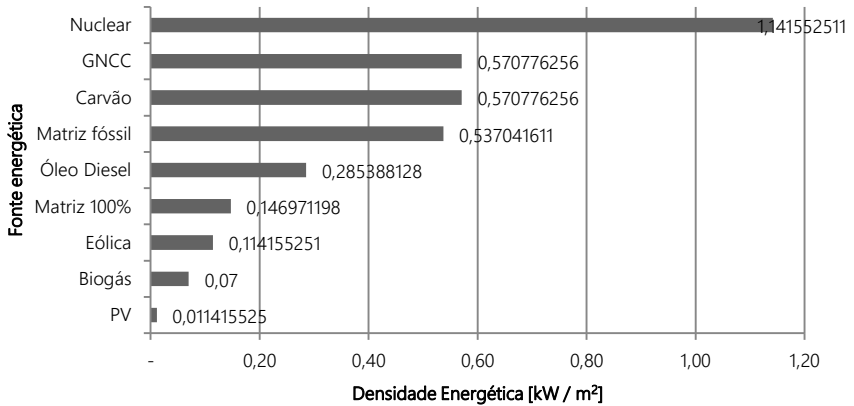


Figura 9 – Densidade Energética

Fonte: Adaptado de (IRENA, 2017)

⁴ A densidade energética não constava na publicação da IRENA, 2017. Assim, se buscou a DE nos calculos de viabilidade de um biodigestor de 75 kW orçado pela BIKOHLER, 2018.

Quadro 7 – Dimensões do Brasil, SIN e Matriz energética fóssil (Matriz T

Item	Valor	Unidade	Fonte
Área total	8.358.140.000.000,00	m ²	(TWB, 2015)
Área arável	2.825.890.000.000,00	m ²	(TWB, 2015)
Consumo (energia)	14.644,00	PJ	(IEA, 2018)
Fator Capac. Médio	50,6	%	-
Consumo (potência)	918.265.507,06	kW	(IEA, 2018)
DE ponderada do SIN	0,15	kW/m ²	(IRENA, 2017), (ANEEL, 2017)
Área geração SIN	6.247.928.293,32	m ²	-
$\frac{\text{Áreasin}}{\text{Áreaarável}}$	0,22	%	-
Área Matriz T	1.709.859.138,85	m ²	-
$\frac{\text{ÁreaMatrizT}}{\text{Áreaarável}}$	0,06	%	-
Reservatório Itaipu	4.214.000.000	m ²	(ITAIPU, 2018)
Município Curitiba	434.967.000	m ²	(IPPUC, 2009)

Fonte: Adaptado de (TWB, 2015), (IEA, 2018), (IRENA, 2017), (ANEEL, 2017)

Como resultado, se sublinha que, na média, a área necessária para gerar a energia que foi fornecida ao SIN, em março de 2017, é de 6,3 mil km² – equivalente a 14 vezes o tamanho do município de Curitiba (IPPUC, 2009) ou a 1,5 vezes a área inundada da reserva da Itaipu (ITAIPU, 2018).

No entanto, esta área equivale a apenas 0,22% do território arável brasileiro. Adicionalmente, a área média para fornecimento elétrico, utilizada pela MatrizT ao SIN, é de 0,06% do território arável brasileiro, logo, 4 vezes menor.

Por fim, calculou-se a quantidade de área necessária para que toda a MatrizT seja substituída pelas fontes alternativas escolhidas, como fotovoltaica, eólica, gás natural, biogás e nuclear. Em seguida, de maneira especulativa, estimou-se a quantidade de área necessária para que a Matriz100% seja substituída por uma das alternativas escolhidas. O Quadro 8 compila essas informações e os resultados.

Quadro 8 – Área necessária para substituição por alternativa energética

	Área necessária MatrizT [m ²]	Margem Tota Área Arável	Área Necessária SIN [m ²]	Margem Tota Área Arável
Biogás	1.442.988.653,95	0,05%	13.118.078.672,30	0,46%
Eólica	884.840.642,60	0,03%	8.044.005.841,86	0,28%
PV	8.848.406.426,04	0,31%	80.440.058.418,56	2,85%
Nuclear	88.484.064,26	0,003%	804.400.584,19	0,03%
GNCC	176.968.128,52	0,01%	1.608.801.168,37	0,06%

Fonte: O autor (2018)

O Brasil é um país vasto. A parcela do seu território para um parque gerador, com emissões mínimas de gases de efeito estufa, é muito pequena. Por exemplo, ao comprometer 0,31% de seu território arável - caracterizados por um relevo geográfico que possibilita a produção agrícola e que representam, aproximadamente, 30% do território total - o país poderia ter capacidade instalada suficiente para fornecer eletricidade oriunda de energia solar fotovoltaica, que tem a maior demanda por território, para o SIN, em um ano. Com 2,85% do território nacional ocupado, o país poderia suprir toda a economia, caso ela fosse 100% elétrica. Naturalmente, este cálculo não considera que apenas um terço do consumo se dá em forma de eletricidade ou territórios com menos incidência de radiação solar ou a intermitência e dificuldade de armazenamento da energia gerada para ser consumida pela noite. A demanda por área para o cultivo intensivo agrícola ou pecuário se dá em climas mais amenos, portanto, no caso da energia fotovoltaica, o conflito com produção alimentícia pode ser descartado.

De qualquer forma, é um resultado válido para comprovar o potencial de uma matriz energética com alta participação de energias renováveis no Brasil, já que países menores não tropicais teriam que comprometer elevadas frações de suas terras, ou até mais do que o território nacional, como é o caso do Reino Unido. A Inglaterra não possui território com radiação solar suficiente para gerar suficiente energia elétrica de fontes fotovoltaicas, por exemplo. Por isso, se considera a importação de energia solar do Marrocos. Outra opção considerada é a substituição da fontes fósseis pela nuclear, que é o recurso energético com maior densidade energética e despachável, ou seja, uma boa opção para um país pequeno e com pouca radiação solar, como a Inglaterra. (MACKAY, 2008).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A redução das emissões de gases de efeito estufa, no setor energético, é uma maneira de possibilitar um cenário de redução de emissões na atmosfera. A substituição de fontes fósseis para renováveis (eólica, FV ou biogás) ou de zero emissões na matriz energética (nuclear), é a única maneira de atingir este objetivo. Contudo, energias de baixa emissão de carbono contam com diversas limitações que mudam de acordo com a geografia da região em questão. A discussão de como resolver o problema das emissões de gases de efeito estufa do setor energético é recorrente em debates recheados de dados não empíricos, desconhecimentos e até mitos.

Esse estudo apresentou o cálculo de três índices econômicos energéticos para o Brasil, com o objetivo de sustentar argumentos e tomadas de decisões econômicas racionais acerca do tema.

Os resultados do Custo Nivelado de Eletricidade (LCOE) [R\$/kWh] revelaram que as usinas movidas a diesel são a opção mais cara da matriz energética do Brasil, a qual ocupa 1,7% da matriz brasileira. A parcela do parque gerador nacional movida por fontes fósseis, chamada de MatrizT, representa 14,2% do fornecimento elétrico do país em 2017 com custo estimado de 1,04 R\$/kWh. Adicionalmente, identificou-se que o gás natural (GNCC) possui o melhor custo-benefício, a opção mais barata e, entre às fósseis, a menos poluidora. e que a energia nuclear possui menor LCOE do que a energia fotovoltaica, 0,44 contra 0,69 R\$/kWh, respectivamente.

De acordo com as respostas dos cálculos do custo de mitigação (CoM) [R\$/tCO₂], foi possível concluir que a substituição destes 14,2% de fonte fóssil da matriz energética brasileira (MatrizT) por qualquer das alternativas escolhidas (biogás, solar, eólica, e nuclear) é lucrativa. Ou seja, além de evitar emissões de CO₂ na atmosfera, o custo da eletricidade gerada poderia ser ainda menor. Isso se dá pois, o custo do combustível

diesel é elevado e impactou expressivamente no LCOE médio. Destaca-se, ainda, a bastante conveniente substituição das termoelétricas movidas a carvão e diesel por gás natural, que registraria um retorno positivo de aproximadamente R\$ 31 mil por tCO₂ não emitida.

O índice de densidade energética por fonte energética foi adaptado de uma recente publicação (IRENA, 2017) e utilizado para estimar o impacto de uma renovação de portfólio energético no Brasil. Os resultados indicaram que o Brasil é de tal vastidão, que o potencial para uma renovação para uma matriz com emissões reduzidas de carbono é cabível. Por exemplo, se estimou que o parque gerador elétrico atual ocupa apenas 0,22% das terras aráveis do país e que, para substituir toda a parcela movida por combustíveis fósseis por energia solar fotovoltaica, apenas 0,82% das terras aráveis seriam comprometidas, incluindo a área já comprometida atualmente.

Entretanto, não se pode concentrar integralmente o fornecimento elétrico de um país em uma fonte de energia. A sugestão para a renovação do portfólio gerador do Brasil é:

- i) desativar imediatamente as usinas de carvão e diesel (4,4%) e substituir pela fonte fotovoltaica,
- ii) gradativamente substituir a parcela movida por gás natural (9,8%) por opções não poluidoras, como as renováveis e nuclear, porém, sem descomissionar as plantas já existentes, a fim de ter uma capacidade instalada de reserva, já que uma usina de gás natural é rapidamente e facilmente acionada,
- iii) não construir mais hidroelétricas e focar em projetos de geração de energia renovável para suprir a crescente demanda por eletricidade e
- iv) fomentar com incentivos a eletrificação da indústria e do transporte.

Por fim, o Brasil já possui uma matriz energética expressivamente limpa no quesito emissão de CO₂ e pode ser melhor. De acordo com a dimensão da produção energética hidroelétrica é possível reestruturar o parque gerador para uma matriz mais limpa ao trabalhar em conjunto com fotovoltaica e gás natural. Isso é possível, pois a hidroelétrica é despachável e pode compensar o déficit de radiação solar quando necessário.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Matriz energética. Banco de informações de geração (BIG)*, v. 4763, 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em 05 de Abril 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Fornecimento. Consumidores, Consumo, Receita e Tarifa Média – Região*. Disponível em: < http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSAMPRegiao.xlsx&Source=http://relatorios.aneel.gov.br/RelatoriosSAS/Forms/AllItems.aspx&DefaultItemOpen=1>. Acesso em 19 de Abril 2018.

BIOKÖHLER. *Orçamentos, parâmetros, consumo e boas práticas de um biodigestor ótimo de 75 kW no Paraná [mensagem pessoal]*. Mensagem recebida por [biokohler@biokohler.com] Comunicação pessoal com a empresa em 14 de Dezembro 2017.

BREYER, Christian, GERLACH, Alexander, SCHÄFER, Daniel, SCHMID, Jürgen. *Fuel-Parity: New very large and sustainable market segments for PV systems*. IEEE EnergyCon. 2010, 406 p.

European Commission (EC). [2018]. *2050 Low carbon economy*. Disponível em < https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en>. Acesso em 05 de Abril 2018.

GIAEVER, I. *De forunderlige klimamytene (The peculiar climate myths)*. Disponível em: <https://www.webcitation.org/5zjsYjOsu?url=http://www.aftenposten.no/meninger/kronikker/article4156816.ece>. Acesso em 05 Abril 2018.

HEAL, G. *The economics of renewable energy*. Cambridge, MA, Oxford University Press for Association of Environmental and Resource Economists, v. 4, p. 139-154, 2010. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w15081>>. Acesso em 14 de Julho 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC) [2009]. *Curitiba em dados*. Disponível em: <http://curitibaemdados.ippuc.org.br/>. Acesso em 20 Abril de 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Brazil's energy balance. 2015*. Disponível em: < <http://www.iea.org/sankey/#?c=Brazil&s=Balance>>. Acesso em 01 de Junho 2018.

INTERNATIONAL ORGANISATION FUER ERNEUBARE ENERGIE (IRENA). *Global Land Outlook. Energy and Land Use. United Nations – Convention to Combat Desertification*. 2017, Pg. 8. Disponível em: < https://static1.squarespace.com/static/5694c48bd82d5e9597570999/t/593a4294b8a79b4be75f6078/1496990366441/Energy+and+Land+Use_U_Fritsche.pdf>. Acesso em: 08 Abril de 2018.

ITAIPU BINACIONAL. [2018] *Meio Ambiente – Hidrologia – Reservatório*. Disponível em: < <https://www.itaipu.gov.br/energia/reservatorio>>. Acesso em 19 de Abril 2018.

LONGBORN, B. *The Skeptical environmentalist: measuring the real state of the world*. Cambridge University Press, Cambridge, 2009, ISBN 0-521-01068-3.

MACKAY, D. J. C. *Sustainable Energy: Without the hot air*. Cambridge, UIT Cambridge, 2008. Disponível em: <www.withouthotair.com>. Acesso em 4 de Abril 2018.

OPENEI. *Transparent Cost Database*. Disponível em: <<https://openei.org/apps/TCDB/#blank>>. Acesso em 05 Abril 2018.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD); FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *Food and Agricultural Organization. Agricultural Land OECD: Paris*. Julho 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-en>. Acesso em 14 de Abril 2018.

SMIL, V. *Power density: A key to understanding energy sources and uses*. The MIT Press, Cambridge, US, 330 f. Setembro 2016.

TRANSMISSORA ALIANÇA (TAESA). *Institucional. Sistema Interligado Nacional*. Disponível em: <http://institucional.taesa.com.br/a-taesa/nosso-negocio/sistema-interligado-nacional-sin/>. Acesso em: 09 de Abril 2018.

UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA) – *Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants. Independent Statistics & Analysis*. Washington, DC. November, 2016. Disponível em: < www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/capcost_assumption.pdf. > Acesso em 05 de Abril 2018.

POLÍTICAS ENERGÉTICAS NA ALEMANHA E NO BRASIL:
DA MATRIZ DE INSUMOS À EFICIÊNCIA NA INDÚSTRIA

SÉRGIO SILVEIRA DE BARROS
PATRÍCIA CHARVET
KLAUS MARTIN FISCHER



POLÍTICAS ENERGÉTICAS NA ALEMANHA E NO BRASIL: DA MATRIZ DE INSUMOS À EFICIÊNCIA NA INDÚSTRIA

A energia sempre foi fator crucial para a humanidade, determinante de sua sobrevivência. Desde as sociedades primitivas o fogo era essencial para aquecer, cozinhar, iluminar e até para afugentar animais perigosos. A questão desafiadora de hoje é a manutenção desta “chama”, em razão do crescimento da demanda mundial por energia. Atualmente, a energia atende a inúmeras funções como transporte, produção, comunicação, saúde, educação e tantas outras que se possa imaginar. Portanto, para mantê-la, a eficiência energética é uma ferramenta de gestão fundamental, pois, precisamente algumas fontes de energia estão na iminência da exaustão.

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética de 2010 a 2030, do Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME, 2010), a eficiência energética “refere-se a diversas naturezas que culminam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a força de luz, calor/frio, acionamento e uso em transporte; objetiva, em síntese atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto da natureza”.

As políticas de eficiência energética têm íntima relação com as políticas voltadas para o equilíbrio do clima do planeta. As emissões de gases decorrentes da combustão de combustíveis fósseis geram o efeito estufa na atmosfera. A consequente elevação da temperatura no planeta poderá elevar os níveis dos mares, alterar correntes marítimas e produzir mudanças no regime dos ventos entre outros impactos.

O objetivo deste capítulo é averiguar as estratégias políticas da Alemanha e do Brasil para transformação de suas matrizes de energia apresentando o grau de eficiência energética em suas indústrias e as diferenças encontradas. Condições socioeconômicas, instituições governamentais, empresariais, acadêmicas e as legislações pertinentes foram utilizadas para esta percepção.

O estudo foi realizado por meio de consulta à literatura especializada, pesquisa em sites de órgãos de governos e conhecimento de dados sobre eficiência energética. E também com visitas técnicas em empresas e participação em seminário de instituições de pesquisa alemãs para percepção da questão da eficiência energética. Buscou-se informações sobre indústrias, centros de pesquisa e dos níveis de governo por meio de jornais, revistas, rádio, TV e internet para averiguar a prioridade da questão energética para a sociedade alemã.

Averiguações e avaliações entre Alemanha e Brasil foram realizadas a partir das políticas de energia e seus programas a partir das legislações, instituições envolvidas e condicionantes socioeconômicos. O indicador de intensidade energética foi apresentado

e referido alguns de seus valores entre diversos países, permitindo uma possível comparação de eficiência entre os países citados.

1. ESTRATÉGIAS POLÍTICAS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ALEMANHA

A Alemanha adotou uma postura firme na questão da eficiência energética a partir da decisão de mudar sua matriz energética que é baseada no carvão, petróleo e energia nuclear, e a partir de 2012 tem buscado dar mais participação à energia renovável lastreada nas energias eólica e solar (IER, 2012). A Figura 1 mostra as metas de participação de insumos energéticos renováveis na matriz de energia da Alemanha prevista para a década atual e as futuras.

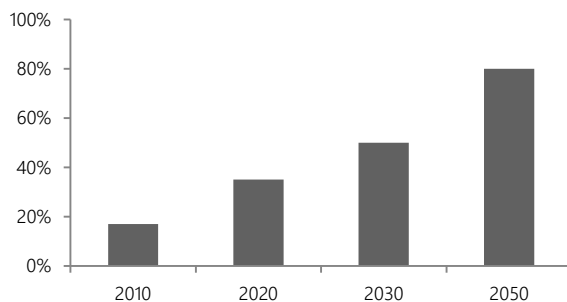


Figura 1 – Utilização de fontes renováveis na Alemanha

Fonte: *Institute for Energy Research - IER, 2012*

De acordo com Madruga (2012), a mudança na matriz energética da Alemanha foi possível, a partir de 2000 quando o Partido Verde Alemão participou da coalizão de governo, havendo à época o redirecionamento das políticas energéticas com o *Erneuerbareenergiegesetz* (Ato das Fontes Renováveis de Energia).

Entretanto, a legislação alemã que trata da questão energética é mais antiga, a exemplo da *Energiewirtschaftsgesetz* (Lei da Economia de Energia) de 1935 e da *Atomgesetz* (Lei da Energia Atômica) de 1960. Novas modificações legislativas foram introduzidas em 1995 como a *Stromsteuergesetz* (Lei de Custeio da Eletricidade) que estabeleceu sobretaxas ao tipo de consumo ou de geração própria de eletricidade, cujo objetivo foi o pagamento de aposentadorias e pensões.

Em 2000 a *Wärmestromerzeugungsgesetz* (Lei de Cogeração de Calor e Eletricidade) voltou-se para programas de manutenção, modernização e expansão da cogeração nas plantas de produção de energia (MADRUGA, 2012).

Os acidentes nucleares de Three Miles Island (1979), Chernobyl (1986) e Fukushima (2011) tiveram papel determinante para a revisão na Lei da Energia Atômica alemã. As dezessete usinas nucleares existentes na Alemanha estão sendo desativadas. Inicialmente, os oito reatores mais antigos foram desativados em março de 2011, e até 2022 a intenção é eliminar os demais (IER, 2012).

Uma das consequências para os alemães, em razão da mudança da matriz de energia foi a elevação dos preços da energia elétrica para o consumidor final. Hoje, a energia elétrica alemã custa três vezes mais do que nos EUA, sendo a 4ª mais cara do mundo. Estudos do *Institute for Energy Research* (2012), apontam que o custo médio da energia elétrica residencial alemã em 2009 estava na faixa de € 2.500,00 por ano. Uma das razões para justificar a alta do custo da energia foi a sobretaxa imposta pelo governo para subsidiar a energia renovável. Por outro lado, o alto custo da energia é um fator econômico que incentiva a indústria a buscar padrões elevados de eficiência energética, sem a qual a competitividade dos negócios poderá ficar comprometida.

A transição da matriz de energia tem custos significativos para a sociedade alemã, pelo fato de em 2011 o programa ter investido € 16,00 bilhões e mais € 20,00 bilhões no ano seguinte (IER, 2012). A transformação da deverá mobilizar € 300,00 bilhões por volta de 2030, de acordo com estimativas da Universidade Técnica de Berlin, citada por IER (2012).

De acordo com Madruga (2012), a redução da participação da energia nuclear na matriz de energia, levou o governo a criar um sistema de incentivos fiscais para as empresas por meio de bancos, a exemplo do Banco de Desenvolvimento *Entwicklungsbank (KfW)*, que estabeleceu programas voltados para a eficiência de energia que permitam redução de custos, para inovação de produtos e processos com conteúdo ecológico (*ecodesign*), para mudança de insumos energéticos e para consultoria às pequenas e médias empresas, com o objetivo de otimizar o consumo de energia elétrica pela indústria alemã. Como consequência das políticas fiscais adotadas pelo governo alemão houve a criação de 600 cooperativas regionais de energia e a geração de 500 mil novos empregos para o fornecimento de energia eólica e solar.

A Política de Eficiência Energética da Alemanha, de acordo com a Associação Empresarial de Portugal – AEP (2015) faz parte da Política de Mudança Climática que está sob a coordenação do Ministério Federal do Meio Ambiente, Clima e Energia. Entende-se, nestas políticas que a falta de racionalidade e economicidade na utilização da energia pelos consumidores resulta em maior demanda de insumos energéticos, como carvão, petróleo, biomassa, entre outros, e cujo resultado final é a maior emissão de CO₂. Se estes insumos puderem ser mais bem utilizados em sistemas de consumo eficientes, os níveis de emissões de gases de efeito estufa serão menores, impactando menos sobre o clima do planeta. Neste contexto o *Integrated Energy and Climate Change Program* da Alemanha, de 2007, tem como meta reduzir as emissões de CO₂ em 40% até 2020, em relação aos

níveis de 1990 (AEP, 2015). As metas e medidas para aumentar a eficiência energética da Alemanha são:

- Aumentar a eficiência energética dos setores econômicos para duplicar a produtividade energética até 2020; o que exige um aumento da eficiência energética em 3% ao ano.
- Aumentar o financiamento para o Programa de Recuperação de CO₂.
- Modernizar as estações de energia e expandir o uso da geração de energia descentralizada ultra eficiente CHP (*Combined Heat and Power*), que consiste na produção bruta de eletricidade e energia calorífica para auto abastecimento industrial ou para cogeração.
- Rever os critérios de financiamento da Lei de Cogeração (KWK-G).
- Apoiar iniciativas europeias.
- Fortalecer a Agência Alemã de Energia (*Deutsche Energie Agentur, DENA*).

O Plano Nacional de Eficiência Energética da Alemanha, definiu para o período 2008 a 2016, a meta de economizar 231 TWh em edifícios, indústrias de transporte e pequenas indústrias, o que equivale à 9,6% do consumo final de energia (AEP, 2015). A lei de cogeração dá direito aos operadores a um bônus acima do preço de mercado da eletricidade, que varia de acordo com o tipo de instalação, a partir de 1,5 €/KWh para instalações existentes e de 5,1 €/KWh para instalações novas e pequenas centrais.

Desde 2002, o governo alemão tem apoiado financiamentos de projetos de cogeração, concedendo isenções da sobretaxa de eletricidade (ecotaxa) para instalações de geração (AEP, 2015). Espera-se, com as metas alemãs duplicar a cogeração até 2020, o que equivale a 25% da produção total de energia elétrica. Os subsídios, hoje na faixa de € 750,00 milhões, deverão também ser duplicados para o atingimento da meta prevista, de acordo com o estudo da Associação Empresarial Portuguesa (2015).

2. ESTRATÉGIAS POLÍTICAS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e inúmeras bacias hidrográficas, apresenta uma matriz de energia com boa participação de insumos renováveis. De acordo com o Ministério das Minas e Energia (MME, 2014), a hidroeletricidade, biomassa, lixo, solar, eólica representam 32,5% da matriz de energia em 2013/2014, visto na Tabela 1.

A utilização de fontes não renováveis como o petróleo, gás natural, lenha, carvão vegetal e mineral ainda é majoritária totalizando 67,5% da matriz energética do Brasil em 2013. Contudo, entre 2008 a 2015, a geração de eletricidade teve como fonte predominante a hidráulica, seguida pela termoeletrica e pela biomassa, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2015).

Tabela 1 – Matriz de oferta interna de energia em 2013

FONTES DE ENERGIA	PARTICIPAÇÃO
Petróleo e derivados	39,3%
Biomassa de cana	16,1%
Gás natural	12,8%
Hidráulica	12,5%
Lenha e carvão vegetal	8,3%
Carvão mineral	5,6%
Lixívia, eólica e solar	4,2%
Urânio	1,5%

Fonte: Balanço Energético Nacional – MME, 2014

A Tabela 2 mostra a expansão da capacidade instalada para a geração de eletricidade das diferentes fontes de energia. Importante expansão da capacidade instalada para geração de eletricidade ocorreu, no período 2008 a 2015, principalmente com a energia eólica, de biomassa e a termoelétrica. A energia solar ainda está aquém do potencial energético que o Brasil possui. No mesmo período, a energia eólica representou quase três vezes a capacidade geradora da energia nuclear e metade da capacidade geradora de eletricidade por biomassa (ANEEL, 2015).

Tabela 2 – Capacidade Instalada para Geração de Eletricidade por Tipo de Fonte no Brasil

Fontes	Capacidade Instalada em 2008 (MW)	Capacidade Instalada em 2015 (MW)	Variação 2008/2015
Hidrelétrica	77.091	89.811	17%
Termoelétrica	17.352	25.919	49%
Biomassa	4.193	12.415	196%
Nuclear	2.007	1.990	- 1%
Eólica	247	5.833	2.261%
Solar	—	15	—
TOTAL	100.890	135.983	35%

Fonte: Aneel, 2015

De acordo com Sola e Kovaleski (2004), em 2001, o Brasil sofreu forte racionamento de energia, decorrente da seca que ocorreu, reduzindo drasticamente os níveis de seus reservatórios de água nas regiões sul e sudeste. Com o episódio climático ficou patente a necessidade de se utilizar mais racionalmente a eletricidade e de dar maior confiabilidade ao sistema elétrico para permitir o crescimento econômico do país.

O consumo industrial de energia por tipo de fonte, nos últimos 40 anos para Brasil e países membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE⁵, da qual a Alemanha faz parte é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Participação do consumo industrial de energia no Brasil e nos países da OCDE, por tipo de fonte, no período 1973 a 2014

FONTES	Brasil / 1973	Brasil / 2014	OCDE / 1973	OCDE/ 2012
Petróleo	39,3%	14,6%	32,7%	13,4%
Gás natural	0,1%	11,1%	26,1%	31,8%
Carvão mineral	7,0%	15,1%	19,1%	11,8%
Eletricidade	11,1%	20,2%	16,5%	31,5%
Bioenergia	42,4%	39,1%	4,4%	8,7%
Calor	0,0%	0,0%	1,1%	2,9%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
TEP milhões	23,0	88,0	958,0	836,0

Fonte: Ministério das Minas e Energia do Brasil – MME, 2015

De acordo com MME (2015), o consumo industrial de energia no Brasil, entre 1973 a 2014, quase quadruplicou, enquanto que para os países da OCDE houve redução em toneladas equivalente de petróleo (TEP). É um dado significativo, pois países da América do Norte, do leste Europeu, Ásia e Austrália, no período 1973 a 2012, tiveram redução de 12,73% no consumo de energia.

Em termos de consumo de energia, a indústria brasileira reduziu por mais da metade sua dependência dos derivados de petróleo e ampliou significativamente o consumo de gás natural em 11% (MME, 2015). O carvão mineral e a eletricidade dobraram

⁵ Países que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Chile, Coréia do Sul, Dinamarca, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Israel, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suíça, Suécia, Turquia.

seus percentuais no consumo da indústria, enquanto a biomassa se manteve estável, porém em um patamar bastante expressivo do entorno de 40%. Esta dinâmica mostra a busca da eficiência energética do Brasil pela vertente da substituição de combustíveis, seja por razões de preços dos combustíveis, ou das dificuldades para garantir o fornecimento de energia, como é o caso da hidroeletricidade em períodos de seca, ou mesmo pela natural vocação para determinada fonte, a exemplo da bioenergia. Participações percentuais similares ocorreram para as mesmas fontes de energia nos países da OCDE, com exceção do carvão mineral que reduziu e da bioenergia que cresceu, apesar de ser ainda minoritária no consumo da indústria destes países (MME, 2015).

De acordo com Barros, Borelli e Gedra (2015), a matriz de consumo interno de energia por setores econômico, no período 2013 a 2014, mostra que a indústria foi responsável por 33,9% do consumo, seguida pelo setor de transportes com 32% do total. As empresas geradoras de energia e residências consomem respectivamente 10% e 9,1%, enquanto que o uso não energético 6,3%, os serviços 4,6% e a agropecuária consome 4,1%. O uso não energético corresponde à quantidade de energia contida em produtos que são utilizados em diferentes setores para fins não energéticos. Quanto ao consumo industrial de energia, cerca de 69% foi aplicado em força-motriz, 23% em eletrotermia, 6% em iluminação e 3% em eletrólise.

O arcabouço legal que estabelece ações voltadas ao uso eficiente da energia no Brasil é concretizado na Lei nº 10.295 de 17/10/2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética, que foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059 de 19/12/2001. De acordo com MME, (2010), anteriormente à Lei de Eficiência Energética o Brasil já vinha se preocupando com a questão da energia. Entre os vários regulamentos legais estabelecidos, podem-se citar em ordem cronológica o Programa Conserve de 1981, voltado a conservar e substituir o óleo combustível nas indústrias siderúrgicas, de papel e celulose e de cimento; o Programa de Mobilização de Energia - PME de 1982 que buscou substituir derivados de petróleo por combustíveis alternativos nacionais; o Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos do Inmetro de 1984, que buscou a eficiência de energia de refrigeradores, congeladores e condicionadores de ar, sendo transformado em 1992 no Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE que estabeleceu padrões mínimos de eficiência de eletrodomésticos.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, criado pela Portaria Interministerial nº 1877 de 1985, assumiu a coordenação geral das ações de eficiência energética; a partir do qual foi implantada a Comissão Interna para Conservação de Energia – CICE de 1990 com o objetivo de reduzir o desperdício de energia no setor público, envolvendo as administrações direta e indireta, empresas públicas e sociedades de economia mista.

Em 1991 foi criado o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – CONPET com funções similares às do PROCEL, porém

voltado à área de petróleo e gás natural. O Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e o Selo Verde de Eficiência Energética foram instituídos em 1993 para destacar iniciativas e boas práticas dignas de destaque nacional. Por fim, foram criadas a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (1996), a Agência Nacional do Petróleo – ANP (1997) e se estabelece a Lei 9991 de 2000 que incentiva investimentos em pesquisa e desenvolvimento em eficiência energética por parte de empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

Portanto, o marco regulatório, a Lei da Eficiência Energética do Brasil, é resultado de um processo de amadurecimento, experimentação e reconhecimento de estratégias e resultados ocorridos nos vinte anos anteriores (MME, 2010).

Sequencialmente à Lei de Eficiência Energética (2001) o governo federal lançou o Programa de Incentivo ao Desenvolvimento de Energia Renovável - PROINFA (2002) com o objetivo de aumentar o consumo de energia renovável no consumo primário em 10% até 2020. Neste programa até 2006 foram investidos R\$10,14 bilhões, sendo 54,54% do valor em energia eólica, 35,50% em pequenas centrais hidrelétricas e 9,96% em biomassa (MME, 2010).

Os objetivos gerais do PROINFA podem ser apresentados do seguinte modo:

- Contratar no mínimo 15% do incremento anual de carga energética.
- Atingir o atendimento de 10% do consumo por fontes alternativas como biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e eólicas em 20 anos.
- Obter índice de nacionalização de equipamentos e serviços de 90%.
- Reduzir a emissão de CO₂ em 2,9 milhões de toneladas por ano.
- Gerar complementariedade sazonal entre as energias hidráulica, biomassa e eólica. Esta flexibilidade é observada no nordeste brasileiro, quando as águas do Rio São Francisco estão em baixa, os ventos suprem o abastecimento de eletricidade para a região.

As políticas de eficiência energética buscam a economia de energia dos setores produtivos independente da formação da matriz de oferta de energia. Contudo, pode ser possível que substituições de insumos energéticos propiciem modernizações nas instalações industriais, máquinas, equipamentos e veículos. Como se podem ver, no caso brasileiro, os grandes consumidores de energia são a indústria e o setor de transporte, totalizando 65,9% do consumo total.

De acordo com a Associação Empresarial de Portugal – AEP (2015), em seu estudo *Benchmarking* de Energia – Eficiência Energética na Indústria, o PROINFA ajudou o Brasil a ser o maior produtor de energia eólica na América Latina, com uma capacidade instalada de 610 MW em 2009. Este estudo indica também que o Brasil instituiu em 2008 o

Programa Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) com os objetivos de reduzir o desmatamento e estabelecer ações para a eficiência energética, além de estimular o uso de energia renovável. A meta deste programa é reduzir o consumo de energia em 10% até 2030 (equivalente a 106 TWh), evitando a produção e emissão de 30 milhões de toneladas de CO₂. Também está prevista no PNMC a substituição de um milhão de geladeiras ao ano durante dez anos.

O governo brasileiro anunciou em 2009 que iria reduzir as emissões totais de gases do efeito estufa até 2020 de 36,1% a 38,9% com adoção de medidas como a redução do desmatamento e adequado uso da terra, acrescida de outra redução de 6,1% a 7,7% por meio da redução do consumo de energia, de acordo com AEP (2015).

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, desde 1998, tem exigido das empresas de geração e distribuição de energia elétrica realizar investimentos que reduzam o desperdício elétrico, incluindo a implementação de medidas de eficiência energética (MME, 2010).

De acordo com Sola e Kovaleski (2004), nas indústrias brasileiras processou-se um conjunto de medidas na busca da eficiência energética, que pode ser assim sintetizada:

- Conscientização das pessoas a respeito do consumo racional de energia,
- Estabelecimento de metas de consumo por produto,
- Mudança da classe de tensão elétrica para a maior flexibilidade na escolha de fornecedores de energia e maior poder de negociação,
- Substituição de equipamentos e fontes de energia,
- Uso do gás natural que apesar de mais caro, reduz os custos de manutenção e assegura a sustentabilidade da produção dos bens,
- Cogeração a partir de gerador próprio acoplado a uma linha de vapor de caldeira ou com o uso de resíduos da produção como combustível.

Barros, Borelli e Gedra (2015) afirmam que alguns aspectos técnicos devem ser avaliados com detalhe pela indústria para se obter eficiência no consumo de energia, como:

- Classificação correta das unidades consumidoras,
- Qualidade da energia (interrupção, afundamento, elevação e desequilíbrio da tensão, cintilação, harmônicos e fator de potência),
- Máquinas de força motriz (acionamento, rendimento de motores elétricos, motores de alto rendimento),
- Caldeiras (produção e distribuição de vapor, drenagens e isolamentos térmicos),
- Iluminação, ar condicionado e aquecimento de água, entre outros.

A avaliação industrial para fins de diagnóstico energético deve conter os objetivos, a identificação das instalações, a definição de metas e identificação de benefícios na implementação de melhorias, os prazos e custos, a análise de viabilidades, as estratégias de medição e verificação, e as recomendações finais. Tal documento é fundamental para a tomada de decisões dos investimentos em eficiência energética (BARROS, BORELLI, GEDRA, 2015).

Aliada ao diagnóstico energético que balizará os investimentos, a adoção da ISO 50.001 é uma boa opção para implantar um sistema de gestão de energia na empresa. Esta norma internacional visa criar controles sobre os gastos energéticos e planejar formas de intervenção a partir de melhorias contínuas, definição de indicadores de desempenho energético, exigência de documentação necessária, estabelecimento de metas de consumo e diagnóstico energético atual, entre outras medidas (ABNT, 2011).

3. CASES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ALEMANHA E NO BRASIL

A eficiência energética busca evitar perdas de energia desde a geração, transporte, distribuição, até o consumo. Para tanto, uma visão inovadora que permeia atualmente os setores industriais, acadêmicos e não acadêmicos na Alemanha é a do *Fraunhofer Institut* da *Universität Stuttgart*, com seu *Ultraeffizienzfabrik Programm*, que foi lançado em 2012. Este programa foi implantado em diversas empresas alemãs e transformado no *Projekt Karlsruhe – Baden Württemberg* (PTKA-BWP) ligado ao Instituto Tecnológico Karlsruhe e ao Ministério do Meio Ambiente, Clima e Energia do Estado BW.

O conceito do programa *Ultraeffizienzfabrik – Fraunhofer* consiste em que a eficiência máxima da empresa será alcançada quando suas diversas áreas puderem atuar conjuntamente, como energia, emissões, material, trabalhadores e organização. O programa enfatiza as inovações nos processos que ocorrem por meio de melhorias contínuas ou até por substituição de máquinas e plataformas de produção, se necessário for, para obtenção de ganhos de eficiência. Processos desajustados, equipamentos obsoletos ou com manutenção deficiente, arquitetura e *layouts* industriais inadequados, trabalhadores sem treinamentos e mal informados favorecem a ineficiência geral do sistema produtivo, acabando por gastar mais energia do que o necessário.

As medidas propostas pelo *Ultraeffizienzfabrik* para serem adotadas pelas indústrias com objetivo de estimular a eficiência energética podem ser assim sintetizadas:

- Aperfeiçoamento dos processos existentes.
- Aquisição de novos processos e tecnologias eficientes.
- Reciclagem e reaproveitamento de resíduos.

- Investimento em matérias-primas renováveis.
- Criação de produtos que proporcionem economia de energia (*ecodesign*).
- Treinamento, capacitação e conscientização dos trabalhadores.

Outro conceito desenvolvido na Alemanha, conhecido por *Zukunftsstadt*, tem sido implementado também pelo *Fraunhofer Institut*, na forma de programa voltado às administrações municipais. A “Cidade do Futuro” ou “Cidade Inteligente” deve elevar os padrões de eficiência nas diversas funções urbanas por meio da utilização de processos de modernização e inovação. Uso do solo, transporte, energia, saneamento, segurança pública, saúde, educação, informação, entre outras, são funções das cidades que poderão ser otimizadas com a aplicação das ferramentas do *Zukunftsstadt Programm*. Visão integrada da gestão urbana, harmonia nas intervenções sobre as cidades, sentido holístico, integrador e inovador do planejamento são as diretrizes de ação da “cidade do futuro”.

Como exemplos do *Zukunftsstadt* existentes na Alemanha pode-se citar o uso crescente de ferramentas digitais para o controle do trânsito, para o monitoramento da segurança pública, para a comercialização de passagens dos sistemas de transporte coletivo (ônibus, metrô e trens), no relacionamento à distância entre bibliotecas públicas e os usuários, entre outros. Projetos arquitetônicos e planos de ocupação territorial podem ser desenvolvidos com modelos digitais tridimensionais, visualizando-se o resultado final em escala real. Igualmente, registros imobiliários, históricos e culturais da cidade, podem ser feitos por modelos digitais que reproduzem a textura das edificações e a ambientação urbana em visão tridimensional (FORSCHUNG LEBEN, 2015).

Este instrumental foi utilizado na Inglaterra para criação do “Corredor de Manchester” que se constitui na ligação de mobilidade entre as áreas de moradia dos alunos, do centro acadêmico e da área de institutos e laboratórios da universidade. Este corredor dispõe de rede de energia autônoma, que serve a 72.000 universitários com energia limpa, substituindo automóvel a gasolina por trens elétricos e bicicletas. Exemplos semelhantes ocorrem *Eindhoven* na Holanda e *Stavanger* na Noruega. As cidades de *Sabadell* na Espanha, *Praga* na República Checa e *Leipzig* na Alemanha possuem setores residenciais para trabalhadores próximos aos distritos industriais onde foram implantadas áreas de escritórios e comércio, providas de redes lógicas inteligentes, malhas de micro mobilidade e possibilidade de financiamento para participantes do programa implementarem outras inovações (FORSCHUNG LEBEN, 2015). Assim, a eficiência funcional urbana permite aos cidadãos economia de tempo e energia.

Durante as visitas técnicas às empresas alemãs, realizadas em 2015, demonstrou-se a prioridade das empresas em aproveitar a energia, principalmente sob a forma de calor. Exemplo disso é a empresa *Energie Baden Württemberg – EnWB* que realiza estudos permanentes para acompanhar a evolução da demanda de energia na Alemanha,

análises de qualidade e do preço do carvão, do gás e dos resíduos de lixo tratados, que são utilizados como insumos energéticos. Questões ambientais e de segurança do abastecimento de energia são igualmente consideradas fundamentais na gestão da empresa *EnWB*.

Uma das estratégias para maior eficiência energética na *EnWB* ocorre na queima do carvão em uma caldeira de 70 metros de altura (caldeira principal), de onde se obtém vapor de água à 545 °C que aciona uma turbina acoplada a um gerador elétrico, produzindo 280 MWh de eletricidade. O vapor produzido na caldeira principal, após gerar energia elétrica é dirigido para uma caldeira de recuperação, que o reaquece o vapor por meio da queima de gás natural, elevando a temperatura do vapor de 545 °C para 560 °C, o que permite acionar outro gerador elétrico para a obtenção complementar de mais 65 MWh. Além da energia elétrica produzida, aproveita-se a carga térmica residual do processo, que aquecerá água potável para uso residencial de 25.000 famílias. Para um país que vive boa parte de ano submetido a condições de baixas temperaturas, esta medida representa uma grande vantagem e economia de energia. A distribuição da água potável aquecida é feita através de tubulações especiais com revestimento térmico e sensores de vazamento. A água sai da *EnWB* a 130 °C e perde 2 °C na distribuição até chegar nas residências, retornando para a usina a 65 °C para ser novamente aquecida e redistribuída, como mostra a Figura 2.

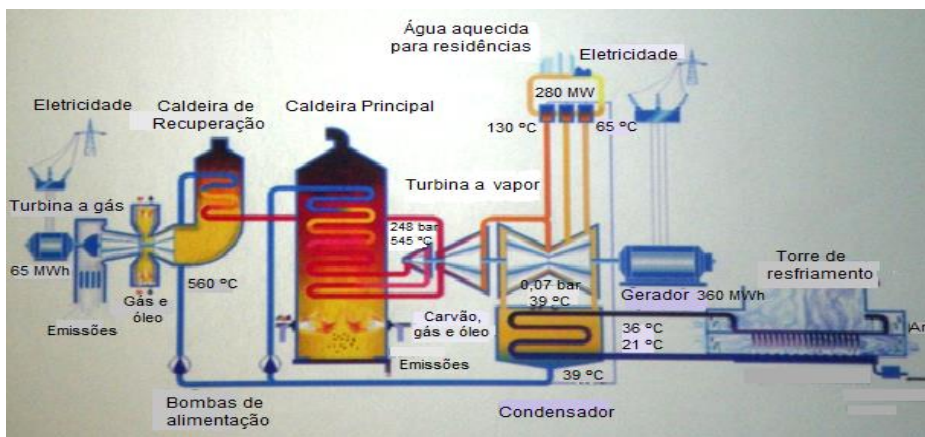


Figura 2 – Esquema de geração de eletricidade e aproveitamento de calor da *EnWB*

Fonte: *EnWB*, 2015

Devido à mudança na matriz energética da Alemanha houve grande incentivo para outros modais, como as energias solar e eólica, pois o governo subsidia os consumidores que implantarem instalações solares e eólicas em suas unidades. O subsídio

inicial de €0,52 por kWh, previsto para durar até 2020, foi reduzido para €0,26 em 2015, seguida de nova redução para €0,11 por kWh no mesmo ano.

Outro exemplo significativo de eficiência energética é o da empresa *Zweckerband Abfallbehandlung Kahlenberg – ZAK* que trata resíduos orgânicos provenientes do lixo doméstico. A partir de 2005, a Alemanha proibiu a deposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários. Utiliza-se, então, a incineração e o tratamento mecânico-biológico conhecido como MBT. A alternativa da incineração direta encontra obstáculos quando o material orgânico encontra-se úmido, não permitindo sua queima em fornos.

Assim, o tratamento MBT é utilizado, iniciando-se com a separação do lixo recebido, eliminando vidros, metais, tecidos e outros materiais que eventualmente possam acompanhar o material orgânico. É necessário dizer que na Alemanha a separação de material reciclável ocorre em sistema independente de coleta e destinação, sendo realizado por outras empresas. O material orgânico segregado passa por processo de lavagem por percolação de água e posteriormente sofrerá secagem biológica natural por nove dias, quando a temperatura alcança entre 50 °C a 60 °C. Esta carga térmica é reaproveitada em diferentes etapas do processo de produção. Em fase posterior, os resíduos secos são direcionados a reatores biológicos anaeróbicos, de onde se obtém biogás, e finalmente são peneirados para a comercialização como combustíveis, cujo poder calorífico alcança de 1.500 a 1.800 kJ/kg.

A empresa de energia *EnWB* do Estado de Baden Württemberg é uma das clientes da *ZAK*, pois queima estes resíduos orgânicos tratados para geração de eletricidade. A empresa *ZAK* trata cerca de 120.000 toneladas de resíduos orgânicos por ano e obtém no mesmo período 40.000 m³ de biogás, o que equivale a 40.000 MWh/ano, dos quais consome 25.000 MWh/ano para seus processos; o restante é vendido para o sistema elétrico.

Os casos apresentados são estratégias consistentes da sociedade alemã que busca contornar os dilemas contemporâneos da preservação ambiental e da necessidade de energia em momento de profundas transformações.

O povo alemão está consciente a respeito da questão energética, suas restrições e a necessidade de economizar energia. Prova disto são as inúmeras propagandas nos meios de comunicação como jornais, revistas, televisão, rádio e redes sociais sobre as medidas necessárias para reduzir os gastos de energia e seus impactos nos orçamentos das famílias. Os frequentes debates políticos comunitários abordam diversas questões cotidianas, entre elas energia, eficiência, cidade inteligente, sustentabilidade e preservação ambiental. Bons exemplos de mídia voltada à conservação de energia são a *Energiesparen Magazin* (Revista Economize Energia) e a *Ökotest – Richtig Gut Leben Magazin* (Ecoteste - Revista para uma Vida Boa e Correta), ambas de circulação nacional, que apresentam artigos para aplicação familiar como reformas residenciais para o isolamento térmico,

iluminação predial, aquecimento por energia solar, eficiência energética de equipamentos domésticos, financiamentos públicos para reformas prediais com fins energéticos, entre outros, com linguagem técnica acessível à população.

A preocupação alemã com o adequado uso da energia é anterior a Segunda Guerra Mundial, por meio da edição da Lei de Economia de Energia de 1935. Após o conflito mundial (1939-1945) e seus desdobramentos geopolíticos, a Alemanha adota a energia nuclear para fins industriais com a Lei de Energia Atômica (1960) e somente com os acidentes em usinas nucleares decide abandonar de forma gradual este tipo de energia.

O Brasil oficializou a questão da eficiência energética em 2001, na ocorrência de uma grande seca que assolou o Brasil. Entretanto, 20 anos antes fora estabelecido uma série de programas voltados à economia de energia. Em 2002, o governo federal brasileiro buscou diversificar novas fontes de energia por meio de fontes renováveis. Economizar energia e buscar fontes renováveis foram as ênfases a partir de então.

Certamente a crise dos preços do petróleo ocorrida nos anos de 1970 preocupou os países desenvolvidos e em desenvolvimento, ao mostrar a fragilidade de suas economias que, de modo geral, utilizavam de fontes fósseis de energia. A este respeito Pietro (1975) assim se manifestou:

O preço decretado do petróleo ascendeu em proporções geométricas, tornando insuportáveis os custos operacionais das indústrias, particularmente para as nações antes dominantes, com sérios reflexos econômicos e sociais para as mesmas, ao conceder para as nações árabes somas aglutinadas, nunca antes em mãos de uma só potência, o que logo repercutiu no seu comportamento político.

As nações industrializadas, com o trauma causado pela problemática do petróleo, convenceram-se de que não estavam seguras, como imaginavam, no campo econômico, de não haver perigos à vista.

A Alemanha Ocidental e o Japão foram os países que mais sofreram, na emergência, embora os demais industrializados, sobretudo os europeus, sem exceção, tivessem grandes problemas, relativamente, bem como os Estados Unidos.

Em tais circunstâncias fortaleceu-se a necessidade de economizar energia e de se buscar novas fontes, preferencialmente renováveis. Foi assim que surgiu no Brasil em 1975 o Programa Nacional do Álcool (NATALLE NETO, 2005).

Do ponto de vista institucional, as estratégias da Alemanha e do Brasil são muito díspares quanto à busca de maior eficiência energética. A Alemanha, por exemplo, tem o envolvimento de organizações de níveis federal e regionais, como ministérios, cooperativas de geração de energia e os *Länderregierungen*, com o envolvimento do sistema financeiro, do meio acadêmico e de seus respectivos institutos de pesquisa e

desenvolvimento tecnológico. As empresas privadas e associações empresariais são convidadas pelas universidades e institutos tecnológicos a conhecerem os programas e métodos especialmente desenvolvidos para aumentar eficiência energética. Firmados os contratos, estabelece-se uma relação próxima que permite a transferência dos métodos e instrumentos gerenciais especialmente desenvolvidos para elevação da eficiência de energia. No caso alemão, trata-se de um sistema institucional capilar e descentralizado, em forma de rede, cujas metas estabelecidas e resultados obtidos nas empresas são apresentados para a sociedade, por meio de seminários técnicos, discussões de *cases* e por meio da mídia. A relação entre empresas privadas e universidades alemãs é realizada por meio de seus institutos de pesquisa, que atuam como articulações, e cuja lógica é comercial.

O Brasil, em contrapartida, possui um arranjo organizacional centralizado e pouco aderente à estrutura socioeconômica. Os ministérios federais relacionam-se com seus institutos técnicos e laboratórios, criados especialmente por força da Lei da Eficiência Energética nº 10.295 de 17/10/2001. A relação entre os níveis federal e estadual são quase nulos. Há pouco ou quase nenhum envolvimento das universidades e seus institutos, do ponto de vista prático ou operacional, junto às empresas brasileiras. Assim, os canais de difusão de conhecimentos, inovações, modernizações ou de simples diálogos ficam bastante restritos. Adicionalmente, a sustentação financeira necessária para a materialização de projetos e programas de incremento da eficiência energética é bastante limitada, e em geral ligada ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Estudo realizado pela Associação Brasileira das Empresas de Conservação de Energia (ABESCO, 2017) aponta que o desperdício de energia no Brasil no período 2014 a 2016 atingiu cerca de R\$ 61,71 bilhões. Isto é equivalente a 1,4 vezes a produção anual da Usina Hidroelétrica de Itaipu em 2016.

O consumo e o potencial de economia de energia elétrica no Brasil no período de 2014 a 2016, demonstram que a indústria foi a grande consumidora de energia elétrica (512.219 Gwh), seguida pelas residências (396.219 Gwh), o comércio (268.441 Gwh) e outros consumidores (225.327 Gwh). Entretanto, o maior potencial de economia de energia elétrica concentra-se nas residências (59.829 Gwh), seguida pela indústria (31.757 Gwh), o comércio (29.528 Gwh) e por outras atividades econômicas (22.532 Gwh), de acordo com ABESCO (2017).

Medidas como substituição de geladeiras, chuveiros e condicionadores de ar por outros mais eficientes, utilização de lâmpadas de Led e o uso racional de carregadores de telefones celulares podem contribuir para economia de energia. Entre os eletrodomésticos, o condicionador de ar é tido como o grande consumidor de energia elétrica com 46% do total consumido, seguido por chuveiro de 440 W com 33% e pela geladeira de duas portas e 360 litros com 23% (INMETRO, 2017).

Estratégia política interessante para melhoria do padrão brasileiro de eficiência energética é o Projeto Prioritário de Eficiência Energética da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), denominado de "Incentivo à substituição de motores elétricos promovendo a eficiência energética no segmento motriz". De acordo com a fabricante Weg Motores Elétricos (2017), sediada em Santa Catarina, os custos para a utilização industrial de motores ao longo de sua vida útil são assim distribuídos: 96% com energia elétrica, 1,5% com manutenção e 2,5% com aquisição. Por isso, o Projeto Prioritário da ANEEL é plenamente justificado, em razão de a eficiência energética depender das condições operacionais e do estado de manutenção dos equipamentos.

O parque industrial brasileiro apresenta-se em muitos setores com maquinários obsoletos, em mal estado de conservação e muitas vezes com potência dos motores superdimensionada para as reais necessidades de força motriz. Por isso, a substituição de motores antigos por outros novos aproximará as empresas usuárias dos fabricantes de equipamentos, permitindo um melhor diagnóstico da eficiência energética nas empresas.

4. ALGUNS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E BARREIRAS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O cenário apresentado por meio dos indicadores socioeconômicos de 2015, segundo o Fundo Monetário Internacional (Tabela 4) revelam diferenças entre Alemanha e Brasil.

Tabela 4 – Indicadores Socioeconômicos da Alemanha e do Brasil em 2015

INDICADORES	ALEMANHA	BRASIL
IB (bilhões USD)	3.365,29	1.772,59
PIB (crescimento anual)	1,5%	-3,8%
Inflação anual	0,1%	9,0%
Taxa de juros anuais	0%	14,15%
Impostos – empresas	29,72%	34%
População	81,41 milhões	207,80 milhões
Área territorial	357.376 km ²	8.516.000 km ²

Fonte: World Economic Outlook Database (2016)

O PIB alemão é praticamente o dobro do PIB brasileiro; enquanto a Alemanha tem crescimento em ritmo modesto (1,5% aa), o Brasil decresce (-3,8% aa). A inflação brasileira de 9% em 2015 demonstra a falta de competitividade dos produtos nacionais frente aos

produtos alemães. As taxas de juros de longo prazo no Brasil (14,15% aa) acrescidas da carga tributária (34%) transformam o sistema financeiro nacional e o governo brasileiro em grandes sócios dos empreendimentos privados, inviabilizando qualquer tentativa de expansão e modernização das empresas. Este ambiente insípido quanto aos estímulos em direção do desenvolvimento explica, em parte, a letargia do setor privado nacional para investir em programas de eficiência. É uma faceta do custo Brasil.

A despeito do arcabouço legal voltado para a eficiência energética no Brasil, pouco se obteve de resultado positivo. As crises econômicas, incertezas políticas, dificuldades na obtenção de financiamentos de longo prazo, juros elevados e pesada carga tributária são alguns dos fatores que ajudam a explicar o atraso de boa parte do empresariado brasileiro em adotar, de forma sistêmica, estratégias voltadas para a eficiência energética. Os empresários brasileiros têm investido pouco em suas plantas industriais com o objetivo de modernizar e torná-las mais eficientes, principalmente as pequenas e médias empresas. A adoção de posturas defensivas quanto aos investimentos é uma questão de sobrevivência empresarial, pois os investimentos têm-se limitado aos programas de manutenção industrial considerados necessários, urgentes e inadiáveis. A eficiência energética no Brasil, do ponto de vista empresarial, possivelmente será encarada com realismo quando o custo da energia consumida for proibitivo, onerando fortemente os custos da produção.

Ao governo cabe a tarefa de estimular as empresas a racionalizar o consumo de energia. Um destes estímulos pode ocorrer pelo sistema de tarifação. Atualmente, as empresas geradoras de energia são remuneradas com base no tipo de consumidor (industrial ou residencial), nas faixas de consumo, em horários de pico da demanda, na sazonalidade ou nas intercorrências que levam à substituição de insumos energéticos. Para estes últimos casos, podem-se citar a utilização de termoelétricas durante as secas ou de hidroelétricas nos períodos de chuva, ou mudanças nos preços internacionais do petróleo, ocorrências de entressafas de cana de açúcar, entre outras conjunturas. Na medida em que as tarifas sobem, as empresas buscam saídas para reduzir seus gastos com energia.

A administração dos preços da energia por parte do governo é uma tarefa complexa, pois deve por um lado, permitir o crescimento econômico, garantindo a confiabilidade da oferta de energia, mas por outro lado, deve evitar impactos inflacionários que inviabilizem a gestão financeira das empresas, a ponto de paralisar a produção.

Portanto, a política econômica exerce importante influência nas decisões empresariais de investir. Ao sinalizar com a Política de Eficiência Energética, o governo brasileiro precisa, também, estabelecer concretamente os meios econômicos como linhas de financiamentos, juros adequados e os apoios técnicos para que as empresas adotem as transformações necessárias.

De acordo com Hinrichs, Kleinbach e Reis (2014), as barreiras contra a maior eficiência energética podem ser de natureza técnica e econômica, relacionadas com produtores, distribuidores, fabricantes de equipamentos e consumidores, além das barreiras de natureza social, política e institucional.

O Quadro 1 mostra algumas destas barreiras que dificultam o caminho na direção da eficiência. O Brasil e a Alemanha são vistos nestes aspectos quanto ao grau de superação das barreiras, por meio da relevância dos aspectos apontados.

O Brasil possui barreiras que são “relevantes e muito relevantes” para o alcance de uma performance eficiente de energia, enquanto a Alemanha, com maior desenvolvimento socioeconômico e tecnológico, tendo contornando a maioria de suas restrições, possui um ambiente favorável de sinergias que permitem o atingimento de elevados níveis de eficiência energética. A este respeito, Hinrichs, Kleinbach e Reis (2014) afirmam que:

Conservar energia sem comprometer o crescimento da economia implica abordar questões como a produção de equipamentos que apresentam consumo mais eficiente, a educação da população e dos setores produtivos para utilizar adequadamente as novas tecnologias, e a garantia da necessária proteção ambiental. Isso, certamente, é um grande desafio para os países em desenvolvimento, nos quais, ao contrário dos industrializados, pelo menos durante período razoável, a conservação de energia poderá significar muito mais um desaperto para permitir o atendimento da demanda reprimida do que um ganho direto em economia de energia.

5. INTENSIDADE ENERGÉTICA DA INDÚSTRIA: UM INDICADOR DE EFICIÊNCIA

A intensidade energética da indústria é a relação entre o consumo de energia e o valor agregado ao produto em processo. Em outras palavras, é o valor da energia aplicada em relação ao valor adicionado ao bem. Este indicador mostra o conteúdo de energia em relação ao conteúdo de transformação do produto, e por isso pode ser utilizado para demonstrar resultados e tendências da eficiência de energia de setores industriais.

O Ministério das Minas e Energia do Brasil (2015) apresentou o indicador de intensidade energética da indústria brasileira de 2012, comparando-o com os valores de diversos países. A Tabela 5 apresenta os indicadores de intensidade energética industrial do Brasil e de outros países avaliados.

Quadro 1 – Tipos de barreiras e relevância para a elevação da eficiência energética

Tipos de barreiras	Brasil	Alemanha
Técnicas e Econômicas		
Custos e incertezas de novas tecnologias	Muito relevante	Relevante
Conhecimento sobre vantagens econômicas e ambientais das várias fontes de energia e usos finais	Relevante	Pouco relevante
Recursos para avanços tecnológicos	Muito relevante	Relevante
Custos relacionados à promoção da eficiência energética e do uso de fontes alternativas	Muito relevante	Relevante
Fabricantes e Distribuidores de Equipamentos		
Dilema dos fornecedores de energia devido sua lucratividade ser proporcional ao consumo de energia	Relevante	Relevante
Geração centralizada com perdas de energia devido às grandes distâncias dos centros consumidores	Muito relevante	Relevante
Resistência à substituição por equipamentos eficientes	Muito relevante	Relevante
Relacionadas aos Consumidores		
Informação sobre benefícios devido à conservação de energia	Muito relevante	Relevante
Dificuldades de investir da população desfavorecida	Muito relevante	Relevante
Os consumidores entendem que a energia é um insumo caro	Relevante	Relevante
Pouco apoio institucional	Muito relevante	Pouco relevante
Instabilidade econômica	Muito relevante	Pouco relevante
Sociais, Políticas e Institucionais		
Necessidades básicas da população desfavorecida	Muito relevante	Pouco relevante
Compatibilidade das estratégias e políticas energéticas com problemas globais	Muito relevante	Muito relevante

Fonte: Adaptado de Hinrichs, Kleinbach e Reis (2014)

Tabela 5 – Intensidade Energética Industrial Efetiva

PAÍS	1980	2012
Brasil	0,09	0,15
Austrália	0,17	0,14
Estados Unidos	0,22	0,12
OCDE	0,16	0,10
Japão	0,12	0,09
Inglaterra	0,12	0,08
México	0,10	0,08

TEP/mil US⁶, \$PPP de 2011

Fonte - Resenha Energética – MME, 2015

Pode-se observar que o Brasil foi o único país a ter elevação de conteúdo de energia na produção, para o período 1980/2012. Os demais países reduziram os aportes de energia por produto, mesmo considerando intensivas de capital suas estruturas produtivas e demandantes de grande quantidade de energia. Portanto, o Brasil coloca-se, em 2012, no primeiro lugar entre os países, quanto ao elevado conteúdo de energia por produto, sendo o índice de intensidade de energia 50% maior em relação aos dos países da OCDE, onde a Alemanha se encontra.

O caso do México é interessante porque em 2012 além de reduzir seu aporte de energia na produção, detém o menor indicador de intensidade energética (8%), juntamente com a Inglaterra. De acordo com a Resenha de Energia do Brasil de 2015, os países do BRICS: Brasil, Rússia e China tiveram a mesma intensidade de energia de 12%, enquanto a África do Sul, membro do grupo de países emergentes, teve 14%, no ano de 2011.

Outro estudo realizado pelo *American Council for Energy-Efficient Economy* – ACEE (2014) considera a Alemanha como o país que ocupa a primeira colocação no *ranking* mundial da eficiência energética, enquanto o Brasil encontra-se em décimo quinto lugar. A metodologia do estudo considerou como critérios o arcabouço legal e políticas nacionais voltadas para a eficiência de energia, bem como boas práticas energéticas em indústrias, edificações e transportes. Em termos industriais a Alemanha ficou atrás da Austrália em intensidade energética, cujo indicador é 13%. Os baixos

⁶ TEP/mil US, \$ PPP 2011) – Toneladas Equivalentes de Petróleo a cada mil dólares de produto gerado, aos preços do petróleo praticados em 2011.

investimentos em pesquisa de eficiência energética, comparado a outros países europeus, é apontada como uma restrição alemã, apesar da existência, desde 2013, de um fundo de investimento para apoiar iniciativas da indústria nesta direção (ACEE, 2014). Quanto ao Brasil a indústria brasileira apresenta o pior indicador de eficiência energética entre os países pesquisados, pois pouco foi feito, apesar de leis e regulamentos; os empresários tem pouca percepção da importância da questão (ACEE, 2014). O estudo ainda aponta que os Estados Unidos estão na décima terceira posição, próximo ao Brasil.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As matrizes energéticas da Alemanha e Brasil são bastante distintas. No caso alemão a mudança na matriz que se realiza hoje traz grandes impactos para a sociedade como: inflação de custos da energia elétrica, maior utilização do carvão no curto prazo para suprir a redução do uso da energia nuclear, e por consequência maior emissão de CO₂, redução de riscos de acidentes nucleares e ambientais, geração de novos empregos com utilização de renováveis e reestruturação de sua infraestrutura, entre outros. Por outro lado, a mudança na matriz de energia oportuniza novas percepções e melhorias contínuas em busca da elevação da eficiência energética, sendo exemplos os Programas *Ultraeffizienzfabrik* e *Zukunftstadt*, ambos do *Fraunhofer Institut* da *Universität Stuttgart*, bem como as estratégias das empresas *EnWB* e *Zak*.

A crise de abastecimento de energia elétrica vivida no Brasil em 2001 certamente convalidou toda a experiência acumulada nos últimos vinte anos em torno do uso eficiente da energia, consolidada por meio da Lei de Eficiência Energética de 2001. Em razão de sua vocação natural, a matriz de energia do Brasil apresenta ótima participação de combustíveis renováveis, contudo, não totalmente aproveitados em razão da baixa utilização da energia solar e eólica, frente ao imenso potencial que o Brasil possui nestes modais. Por outro lado, as indústrias brasileiras gradualmente substituem os derivados de petróleo por bioenergia e gás natural, por meio de estímulos governamentais.

A legislação brasileira para a eficiência energética é extensa. Não é por falta de leis que o Brasil está atrasado nesta questão. O ambiente econômico adverso contribui, por um lado, para a decisão empresarial de não investir em programas de eficiência energética, uma vez que na agenda da indústria este tema ainda não é prioritário no conjunto dos investimentos. Para contornar a dificuldade econômica, é importante que as empresas brasileiras implementem a ISO 50.001 a fim de visualizar suas limitações e tipos de ineficiências energéticas. A aplicação da ISO 50.001 permite antever etapas e investimentos, que não sejam necessariamente dispendiosos, e cujos retornos podem ocorrer em curto prazo.

O Ministério das Minas e Energia do Brasil (2015) apresentou o indicador de intensidade energética da indústria em 2012, comparando-o com valores de diversos países. A intensidade de energia do Brasil mostra-se maior que a de outros países. Algumas estratégias no Brasil são promissoras como o Projeto Prioritário de Eficiência Energética da ANEEL de “Incentivo à substituição de motores elétricos promovendo a eficiência energética no segmento motriz”. No entanto, para o Brasil há um longo caminho a percorrer, no qual se oportune aos empresários financiamentos de longo prazo, com melhor articulação entre institutos de tecnologia e universidades, haja estímulos para fabricação e aquisição de máquinas e equipamentos mais econômicos em consumo de energia. Aperfeiçoar sistemas produtivos, modernizar instalações industriais e mantê-las adequadas, buscar certificações para processos e produtos, orientar e conscientizar a sociedade contra desperdícios, especialmente de insumos energéticos, são os desafios que competem aos empresários brasileiros. Ao governo cumpre fazer a articulação entre os agentes produtivos, os setores geradores de inovações e a participação da sociedade, para se aplicar a legislação e os programas de eficiência.

As estratégias da Alemanha e do Brasil são muito díspares quanto à busca de maior eficiência energética, contudo ambos podem buscar melhores padrões de eficiência se forem estabelecidos convênios e acordos de cooperação entre governos, empresas e universidades, motivados por razões de economicidade, de qualidade ou especialmente por questões ambientais. O Brasil poderá aprender com a Alemanha nesta área, e os alemães reconhecerão os grandes desafios existentes em nosso país a fim de nos tornarmos realmente eficientes em energia. Realizar políticas de eficiência energética é tarefa complexa, entretanto bons resultados poderão ser alcançados com a participação de todos. O compromisso com as futuras gerações e com o planeta deve ser prioridade permanente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Brasília. Disponível em: < www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/-/asset_publisher/94kk2bHDLPmo/content/chamadas-de-projetos-prioritarios/656831 > Acesso em 25/10/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. São Paulo. Disponível em: < <https://www.ambienteenergia.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Potencial-de-Economia-Setor-2016-Divulga%C3%A7%C3%A3o.pdf> > Acesso em 25/10/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ISO 50.001: Sistemas de gestão da energia – Requisitos com orientações para uso*, 2011.

ASSOCIAÇÃO EMPRESARIAL DE PORTUGAL. *Benchmarking de Energia – Eficiência Energética na Indústria*. Portugal, 2015. Disponível em: < http://efinerg.aeportugal.pt/documents/Benchmarking_EFINERG2.pdf>. Acesso em: 24/02/2016.

BARROS, B.F; BORELLI, R; GEDRA, R.L. *Eficiência Energética – Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos*. São Paulo: Editora Érica, 2015. 152p

EIN SONDERHEFT VON WOHNGLÜCK. *Energiesparen Magazin*, Hamburg, n. 17, Herbst / Winter - 2015/2016.

ENERGIE BADEN WÜRTEMBERG, 2015, Stuttgart. Disponível em: < <https://www.enbw.com/index.html>>. Acesso em: 10/11/2015.

FORSCHUNG LEBEN: Zukunftsstadt. *Das Magazin von der Universität Stuttgart*, n. 4, 2015.

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL – *Indicadores Econômicos da Alemanha e do Brasil de 2015*. Disponível em: <<https://pt.portal.santandertrade.com/analise-os-mercados/alemanha/economia>>; <<https://www.bcb.gov.br/?COPOMJUROS>>;

HINRICHS, Roger; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu B. *Energia e Meio Ambiente*. Tradução de: Lineu Reis, Flávio M. Vichi, Leonardo F. Melo. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH. *Política de Energia Alemã: uma Crise criada pelo Homem que agora custa bilhões*. Disponível em: <<http://instituteforenergyresearch.org/>>. Acesso em: 12/12/2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: 25/10/2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Matriz Energética do Brasil, Balanço Energético 2013/2014*. Disponível em: < www.investe.sp.gov.br>. Acesso em: 10/10/2015.

INTERNATIONAL ENERGY AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY-EFFICIENT, ECONOMY, ENERGY CONSERVATION IN THE UNITED STATES. *The 2014 International Energy Efficiency Scoreboard, Executive Summary*. Washington, 2014. Disponível em: < <http://aceee.org/portal/national-policy/international-scorecard>>. Acesso em: 02/12/2015.

MADRUGA, K. *Um Panorama da Gestão de Eficiência Energética na Indústria Alemã*. Disponível em: < <http://www.engema.org.br/XVIENGEMA/462.pdf> >. Acesso em: 05/10/2015.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA DO BRASIL (MME). *Plano Nacional de Eficiência Energética – Premissas e Diretrizes Básicas*. Brasília, 2010. Disponível em:< <http://www.mme.gov.br> >. Acesso em: 15/10/2015.

_____. *Resenha Energética Brasileira – Exercício 2014*. Brasília, 2015. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br> >. Acesso em: 25/10/ 2015.

NATALLE NETO, J. *A Saga do Álcool: Fatos e verdades sobre os 100 anos de história do álcool combustível em nosso país*. Osasco: Novo Século Editora, 2007.

PIETRO, C. *Radiografia das Multinacionais*. Rio de Janeiro: Francisco Alves Editora, 1975.

RICHTIG GUT LEBEN: Umwelt und Energie. *Ökotest Magazin*, Frankfurt, n. 1509, 2015.

SOLA, A.V.H; KOVALESKI, J. L. *Eficiência Energética nas Indústrias: Cenários e Oportunidades*. 2004. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_engep0702-1061.pdf>. Acesso em: 2/10/2015.

ULTRAEFFIZIENZFABRIK, *Fraunhofer Institut*, 2015, Stuttgart. Disponível em: <www.ultraeffizienzfabrik.de>. Acesso em: 25/11/2015.

WEG MOTORES ELÉTRICOS. Jaraguá do Sul/SC. Disponível em: <www.troqueseumotor.com.br>. Acesso em: 25/10/2017.

ZWECKVERBAND ABFALLBEHANDLUNG KAHLENBER, 2015, Stuttgart. Disponível em: <www.ZAK-ringsheim.de>. Acesso em: 10/12/2015.

REPENSANDO A LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADAS
FLUORESCENTE EM DESUSO COM APROVEITAMENTO
COMPLETO DE MATÉRIA

ALVARO LUIZ MATHIAS
KLAUS MARTIN FISCHER



REPENSANDO A LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADAS FLUORESCENTE EM DESUSO COM APROVEITAMENTO COMPLETO DE MATÉRIA

Os resíduos sólidos (RS) têm sido destinados a aterros sanitários, os quais têm limitações de capacidade e, eventualmente, podem desprender poluentes (SEIK, 1997). Outra opção é sua incineração (ABBA et al, 2013), a qual também emite gases a serem mitigados (WU, BISWAS, FENDINGER, 1994), e gera resíduos sólidos (VASSILEV, BRAEKMAN-DANHEUX, 1999) que necessitam destinação final cuidadosa (TAKAHASHI, KIDA, SHIMAOKA, 2010). No entanto, o RS tem sido deixado de ser considerado como algo inútil (VASSILEV, BRAEKMAN-DANHEUX, 1999), sendo que a reciclagem pode disponibilizar matérias-primas secundárias ou, pelo menos, energia química (GUTOWSKI, 2008). Esta filosofia economiza matérias-primas primárias (minério, água) e fontes de energia exógena (petróleo, carvão, etc.) com minimização da poluição da atmosfera, da água e do solo (CUI, FORSSBERG, 2003).

Para tanto, a coleta seletiva com envolvimento da população é essencial, sendo especialmente importante para materiais com alto potencial de contaminação, como é o caso dos dispositivos eletrônicos (TAKAHASHI, KIDA, SHIMAOKA, 2010), tais como as frações eletrônicas de acionamento das LF compactas e reatores das LF tubulares. Essa filosofia vem de encontro com a demanda reprimida observada para diversos elementos (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2011), sendo que vários deles compõem a lâmpada e seu dispositivo de acionamento.

Para resíduos perigosos, a logística reversa surge como um instrumento de desenvolvimento socioeconômico composto por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos RS ao setor empresarial para reaproveitamento em seu ciclo, ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2012).

Dentro desta filosofia, a reciclagem das lâmpadas fluorescentes (LF) e seus componentes eletroeletrônicos são casos obrigatórios de logística reversa no Brasil (BRASIL, 2012). Assim, o mercúrio (Hg) da LF deve ser recuperado e reciclado (RABAH, 2004) devido à alta toxicidade aguda e crônica, sendo que deve ser utilizado e manuseado em condições controladas para evitar danos à saúde humana e ao meio ambiente (EPA, 2009). Os demais componentes, vidro e metais, também podem ser facilmente reintroduzidos nas cadeias produtivas (RABAH, 2004), mas o pó fosfórico fosforescente (PFF), uma mistura complexa de fosfatos e óxidos, está no limiar tecnológico para recuperação total da matéria. Neste sentido, este capítulo relata informações sobre reciclagem da LF com ênfase na recuperação de, pelo menos, alguns de seus elementos de terras raras (*Rare Earth Elements* ou REE). O material não aproveitado deve seguir para destinação de resíduo perigoso.

1. DESTINAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO

Recentemente, a disposição de RS urbano em aterro sanitário tem sido substituída por incineração, pois seu impacto ambiental tem sido considerado pouco maior ao da reciclagem e da compostagem (ABBA et al, 2013). Essa filosofia permite a utilização da energia térmica gerada e reduz drasticamente a massa e o volume final do resíduo (WU, BISWAS, FENDINGER, 1994), entretanto, seu custo de investimento é quase duas vezes maior do que ao do aterro, e três vezes superior ao da compostagem. O custo de operação para a incineração é também maior (FOOLMAUN, CAMILALL, MUNHURRUN, 2011) e pode emitir compostos tóxicos (WU, BISWAS, FENDINGER, 1994), como é o caso do mercúrio (TAKAHASHI, KIDA, SHIMAOKA, 2010).

A percepção de que o RS é útil e tem valor econômico é relativamente recente e, conseqüentemente, sua reciclagem para reuso como matéria-prima secundária. Até então, era consensual que deveria ser destinado ao aterro ou incinerado. No entanto, estas destinações podem ser limitadas. Por exemplo, Singapura teve que implantar rapidamente uma política de reciclagem de RS urbano e industrial devido ao seu crescimento econômico acelerado no início da década de 90. Os aterros sanitários e os incineradores estavam chegando aos limites máximos de suas capacidades, sendo que uma nova filosofia de gerenciamento de RS urbano foi iniciada em 1990 pelo seu ministério do meio ambiente para reduzir o custo de coleta, de infraestrutura e de operação de destinação. Em estudo preliminar, a participação inicial da população foi boa, mas se revelou abaixo da projeção para escala final. Isto foi atribuído à inata falta de colaboração, de necessidade de incentivo suplementar e o desconhecimento generalizado do novo sistema. Assim, ações complementares de educação ambiental para minimização de geração de RS foram recomendadas (SEIK, 1997).

Adicionalmente, países que podem e aplicam taxas elevadas de minimização de RS, atingem níveis particularmente altos de reciclagem. Além disso, a eficiência depende das diferenças regionais de quantidade e qualidade da renda auferida e da eficiência econômica. Neste contexto, a reciclagem multinacional e redução de fluxos de importação/exportação de produtos primários e secundários entre todos os países devem ser um objetivo global para proporcionar um bem-estar social internacional universalizado (VAN BEUKERING, VAN DEN BERGH, 2006). Por exemplo, a logística reversa se revelou uma tarefa complexa mesmo em Singapura, um país de dimensões relativamente reduzidas, com população concentrada em pequena área, com alta renda per capita e com elevado grau de instrução (SEIK, 1997). Logo, a educação ambiental para uma motivação continuada para manter alta efetividade deve estar presente além do meio acadêmico e ser incorporado a toda amplitude da sociedade.

2. TRATAMENTO TÉRMICO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO

A degradação térmica do RS urbano pode ser realizada por combustão, gaseificação direta ou por pirólise seguida pela combustão e gaseificação do carvão resultante. O RS da incineração, em que pese possa ser perigoso, foi considerado útil como concentrador de matéria inorgânica (VASSILEV e BRAEKMAN-DANHEUX, 1999) como observado numa planta piloto semi-industrial nos anos de 1993, 1995, 1996 e 1997. Esse RS de óxidos (Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, S, Sb e Zn) pode eventualmente ser lixiviado pela água e contaminar corpos hídricos com potencial dano socioambiental. Para tal, esse RS deve ser destinado a sistemas sofisticados de armazenamento de produtos perigosos (VASSILEV, BRAEKMAN-DANHEUX, 1999) ou, preferencialmente, ser reprocessado para reuso de metais pela indústria. No entanto, sua complexidade impede a viabilidade econômica.

Consequentemente, esforços para recuperação preliminar de metais valiosos e perigosos do RS urbano e logística reversa têm crescido recentemente, embora sua eficiência tenha se revelado parcial. Por exemplo, a logística reversa não impediu que 31 elementos fossem observados na alimentação do incinerador na Suíça, incluindo metais preciosos (Au: 0,4 e Ag: 5,3 mg.kg⁻¹), elementos de metal do grupo da platina (Pt, Rh) e REE (Gd: 0,75 e Nd: 7,26, Pr: 1,9, Y: 7,85 mg.kg⁻¹) (MORF et al, 2013).

Isto é lamentável, pois suas recuperações seletivas pós-tratamento térmico não são economicamente viáveis e causam dano ambiental, principalmente pelas emissões, sendo apenas limitadas por instrumentos legais (VASSILEV, BRAEKMAN-DANHEUX, 1999). Por exemplo, no caso de emissão de Hg em incineradores, Takahashi, Kida, Shimaoka (2010) relataram que a eficiência de sua remoção dos gases de incineradores de RS urbano para diferentes dispositivos de controle de poluição com operações unitárias simples ou combinadas atingiram 22% a 82%, sendo que o último nível não era viável economicamente. Logo, o RS contendo Hg não pode ser incinerado e deve seguir obrigatoriamente para logística reversa (TAKAHASHI, KIDA, SHIMAOKA, 2010), o que reforça a exigência brasileira de aplicar logística reversa para LF (BRASIL, 2012).

3. LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUO SÓLIDO ELETROELETRÔNICO

É mais complexa devido a sua heterogeneidade, como é o caso da porção eletrônica de acionamento das LF compactas e do reator das LF tubulares (Figura 1). O primeiro passo demanda coleta seletiva do RS urbano pela ação do consumidor final e está totalmente implantada em vários países (MORF et al, 2013), mas não é universal e completa. Cite-se, como exemplo, a Nigéria, que não apresentava reciclagem de celulares

até o final de 2008, embora já tivesse o sistema de coleta e armazenamento. Isto é mais grave sabendo que cerca de 65% dos consumidores estariam dispostos a entregar os aparelhos em postos de reciclagem e a pagar uma taxa adicional para reduzir o impacto ambiental (NNOROM, OHAKWE, OSIBANJO, 2009), ou seja, a maioria aceita o custo da reciclagem.



Figura 1 – Porção eletrônica de acionamento das LF compactas e do reator das LF tubulares
Fontes: CORREIA (2016) e PORTAL ELETRECISTA (2018), respectivamente.

No Brasil, o gerenciamento de RS estabeleceu a obrigatoriedade de implantação de logística reversa para alguns itens: (1) pilhas e baterias, (2) pneus, (3) lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio, de mercúrio e de mercúrio de luz mista, (4) óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens, (5) produtos eletroeletrônicos, e (6) resíduos de embalagens de agrotóxicos (BRASIL, 2012).

Nesse sentido, grande parte do RS também passará a ser matéria-prima secundária, como tem ocorrido para o ferro, alumínio, cobre e outros metais individuais ou na forma de ligas (GUTOWSKI, 2008). Reforça-se que alguns elementos químicos são muito mais diluídos na natureza do que no RS eletroeletrônico (MICHELIS et al, 2011), sendo que os RS apresentam uma matriz complexa que pode reduzir a sustentabilidade econômica (GUTOWSKI, 2008) devido à demanda de tecnologias a serem aprimoradas.

4. DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA NATURAL E DA RECICLAGEM

A reciclagem minimiza as demandas de matéria-prima primária e de energia, o que também gera recursos financeiros, pela priorização do fechamento do ciclo de uso de uma matéria específica (GUTOWSKI, 2008). Isto provoca impactos menores sobre a saúde

humana e o ecossistema (BRASIL, 2012) e que podem ser estimados com índices de impactos.

Nesse ponto de vista, a análise de ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta usada para avaliar efeitos deletérios (TECHATO, WATTS, CHAIPRAPAT, 2009) e pode ser usada para aperfeiçoar o uso de matéria e de energia para processo produtivo e, inclusive, destinação de seus resíduos (GUTOWSKI, 2008). Por exemplo, a ACV de uma LF de baixa potência (36 W) em desuso por meio de reciclagem e destinação revelou a geração de resíduos a granel ($1,64 \cdot 10^{-5}$ kg), resíduos perigosos ($1,11 \cdot 10^{-4}$ kg), resíduos radioativos ($1,09 \cdot 10^{-9}$ kg) e cinzas de escórias ($6,02 \cdot 10^{-7}$ kg). Essas pequenas quantidades unitárias de componentes perigosos se tornam graves quando vistas no nível do país e demanda a formulação de políticas adequadas para evitar seus efeitos presentes e futuros (TECHATO, WATTS, CHAIPRAPAT, 2009).

Quanto à economia de matéria e de energia nos anos da década de 80, Chapman e Roberts (1983) destacaram que a produção de aço a partir de reciclagem minimiza o gasto de 72% da energia necessária para produzi-lo a partir dos seus minérios. Outros exemplos relatados foram cobre (86%), alumínio (94%), zinco (61%), chumbo (77%) e titânio (67%). Dados mais recentes confirmam essa economia para ferro e aço (74%), cobre (85%), alumínio (95%), zinco (60%), chumbo (65%), papel (64%) e plástico (>80%) (CUI, FORSSBERG, 2003). No entanto, os benefícios não se restringem somente à energia. O uso de sucata de ferro e aço também reduz a demanda de minério (90%) e de água (40%); bem como, minimiza a poluição da água (76%) e do ar (86%), e geração de resíduos de mineração (97%) (CUI, FORSSBERG, 2003).

Outro aspecto que estimula o reuso como matéria-secundária é a demanda reprimida de alguns elementos essenciais para a indústria, bem como a peculiaridade geológica. No último caso, por exemplo, o cobre presente em grande quantidade mássica nos dispositivos de acionamento de LF não é frequente nas rochas da crosta terrestre (Figura 2).

Alguns são raros e são considerados preciosos (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2012). Mesmo os que apresentam abundância relativa alta (como lítio, manganês, cobalto e níquel; Figura 3) têm sido pouco ofertados no mercado internacional, o que tem causado um aumento atípico de seus preços (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2011). Aditivamente, alguns REE (Figura 3), que compõem o PFF da LF (JORDENS, CHENG, WATERS, 2013) e o Ni (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2011), estão nessa situação. Logo, a logística reversa da LF passa a ser prioritária para produção de matéria-prima secundária, sendo que apenas uma porção minorada de resíduo segue à destinação de produtos perigosos.

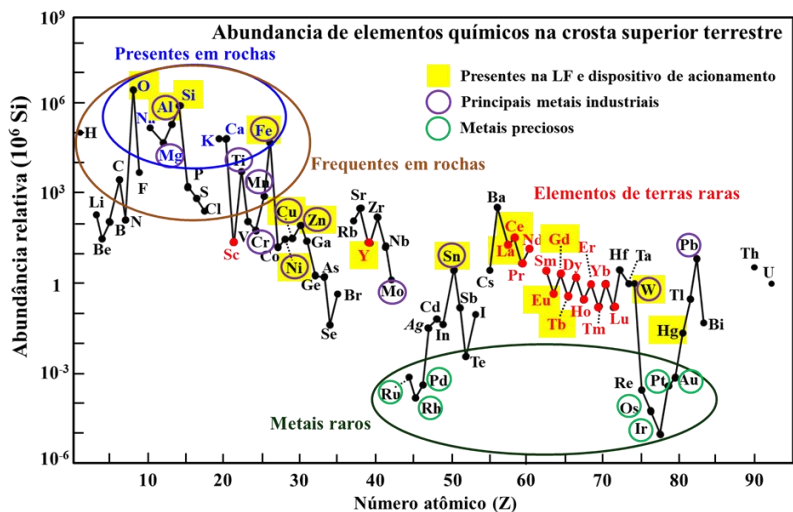


Figura 2 – Abundância relativa dos elementos (átomos por 10^6 átomos de Si) na crosta terrestre e sua relação com lâmpadas fluorescentes.

Fonte: Adaptado de RABAH, 2004; U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2012; US DEPARTMENT OF ENERGY, 2011.

REE sem risco crítico de suprimento
 REE com risco crítico de suprimento
 Demais elementos com suprimento crítico
 Elementos presentes na LF

1																	18
H	2											B	C	N	O	F	Ne
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La-Lu*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Ti	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-Lr**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Fl	Lv				
		* La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu															
		** Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr															

Figura 3 – Tabela Periódica com destaque dos elementos que compõem a lâmpada fluorescente e elementos com suprimento crítico.

Fonte: Adaptado de IUPAC, 2013; US DEPARTMENT OF ENERGY, 2011; JORDENS, CHENG, WATERS, 2013.

5. RESÍDUO SÓLIDO URBANO ELETRÔNICO E SEU POTENCIAL DE RECICLAGEM

Os dispositivos de acionamento da LF devem ser reciclados em conjunto com outros aparelhos eletrônicos em desuso, como computadores e celulares, para que o aumento de escala de processamento se torne viável economicamente. Próximo a 2008, a produção mundial de RS eletrônico foi estimada entre 20 e 25 milhões de t.ano⁻¹, sendo principalmente gerados na Europa, Estados Unidos e Austrália. Esse quadro tende a se agravar devido ao crescente consumo per capita na China, Europa Oriental e outros países da América; bem como pela maior demanda por aparelhos com tecnologia mais recente.

Por outro lado, o RS eletrônico contém metais valiosos (Cu, grupo da platina), bem como potenciais contaminantes ambientais, especialmente Pb, Sb, Hg, Cd, Ni, éteres difenil-polibromados (PBDE ou *Polybrominated Diphenyl ethers*) e bifenilos policlorados (PCB ou *PolyChlorinated Biphenyl*). A incineração deste tipo de material orgânico é dissuadida, pois pode gerar dioxinas, furanos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH ou *Polynuclear Aromatic Hydrocarbons*), hidrocarbonetos aromáticos polihalogenados (PHAH ou *PolyHalogenated Aromatic Hydrocarbons*) e cloreto de hidrogênio, os quais são extremamente tóxicos. Nesse sentido, o RS eletrônico era geralmente destinado a aterros em países menos desenvolvidos pela falta de tecnologia com sustentabilidade econômica. No entanto, tecnologias de reciclagem factíveis estão em desenvolvimento, embora ainda em fase inicial (ROBINSON, 2009), bem como há a demanda legal (BRASIL, 2012).

6. OPERAÇÕES UNITÁRIAS PARA PREPARO DA RECICLAGEM DE PRODUTOS ELETRÔNICOS

O RS eletrônico apresenta uma matriz labiríntica e diversificada, tendo sido observado metais ferrosos (38%), metais não ferrosos (28%), plásticos (19%), vidros (4%), madeiras (1%) e outros componentes (10%) (CUI, FORSSBERG, 2003). Também pode ser altamente tóxica, como baterias com “metais pesados” (chumbo, mercúrio e cádmio), CRTs (*Cathode Ray Tubes*; chumbo no vidro cônico e na capa de revestimento fluorescente dentro do painel de vidro); equipamentos com presença de Hg (termostatos, sensores, relés, interruptores, placas de circuito impresso, lâmpadas de descarga, equipamentos médicos, equipamentos de transmissão de dados, telecomunicações e celulares); resíduos com amianto, toner e os seus cartuchos; capacitores que contêm PCB, LCDs (*Light Emitter Diode*) com área superior a 100 cm², plásticos com retardadores de chama tóxicos (podem produzir componentes halogenados durante incineração),

hidrocarbonetos halogenados presentes em equipamentos de refrigeração e Hg de LF são exemplos (CUI, FORSSBERG, 2003).

A reciclagem de RS eletroeletrônicos pode ser dividida em três etapas principais (CUI, FORSSBERG, 2003):

- a) Desmontagem manual seletiva: processo indispensável, pois separam componentes perigosos, valiosos ou ambos,
- b) Condicionamento e preparação primária: usa processamento mecânico/físico e/ou processamento metalúrgico para classificar materiais com alto valor agregado, agrupamento de componentes químicos iguais ou similares e redução de tamanhos dos materiais para viabilizar a recuperação, e
- c) Refino, ou, concentração de materiais recuperados para regressar como matéria-prima secundária.

O desmanche pela ação humana torna as operações unitárias subseqüentes mais eficientes. Após, os macrocomponentes são separados em containers para reuso (componentes padrões), tratamento posterior complexo (cabos, circuitos, placas, componentes metálicos grandes, mistura de plástico com metal), produção de vidro específico, recuperação de energia (plástico e madeira), minimização de impacto com destinação adequada (bateria, dispositivos com mercúrio e vidro contendo chumbo) e destruição controlada de plástico contendo componentes tóxicos (CUI, FORSSBERG, 2003).

A seguir, o RS eletrônico para tratamento posterior complexo deve ser fragmentado preferencialmente a menos de 5 mm para permitir sua separação de acordo com propriedades físicas e passa a ser viável para recuperação de componentes valiosos. Processos mecânicos são usados em série, como triagem manual, separação por tamanho, separação magnética, separação com corrente Eddy, separação eletrostática, e *jigging* (separação pela diferença de densidade) (CUI, FORSSBERG, 2003). A projeção de RS eletrônico (20 a 25 t.ano⁻¹: ROBINSON, 2009) e sua composição (CUI, FORSSBERG, 2003) permite recuperar 7,6 t.ano⁻¹ de metais ferrosos e 5,6 t.ano⁻¹ de metais não ferrosos, sem contar outros materiais recicláveis ou, pelo menos, transformados em energia.

7. LOGÍSTICA REVERSA DA LÂMPADA FLUORESCENTE

7.1. O USO DA LÂMPADA FLUORESCENTE E SUA DEMANDA DE RECICLAGEM

A iluminação é uma das grandes demandas de energia em nível mundial e a substituição da lâmpada incandescente por LF foi incentivada para reduzir à demanda de

energia elétrica de modo a minimizar a produção de gases de efeito estufa (EPA, 2009).

No mesmo sentido, os procedimentos de limpeza da LF e seus refletores/luminárias, bem como suas substituições em lotes, são estratégias recomendadas para redução energética (CONLEY, 2010). No último caso, gera LF em desuso precoce.

A EPA (*United States Environmental Protection Agency*) incentiva sua reciclagem para evitar a emissão de Hg e viabilizar a reutilização de parte de seus componentes. Para tal, é necessário manuseá-la, transportá-la em contêineres específicos e armazená-la intacta e em ambiente de fácil limpeza e arejado (EPA, 2009). Isto se deve ao Hg ser um metal líquido à temperatura ambiente (ponto de fusão de $-38,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ e de ebulição de $356,90\text{ }^{\circ}\text{C}$) e ser volátil ($5,9$ e $34,4\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) em temperaturas comuns no meio urbano (entre 10 a $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente).

Se absorvido pela pele ou pelo trato respiratório para exposição aguda de até 10 dias pode causar náuseas, vômitos, dor abdominal, diarreia com sangue, danos aos rins e morte. No caso de exposição crônica, pode provocar inflamação na região da boca e gengivas, salivação excessiva, perda dentária, lesões nos rins, tremores musculares, andar irregular, espasmos das extremidades, alterações de personalidade, depressão, irritabilidade e nervosismo (OSHA, 2010).

Mais recentemente, a eficiência de lâmpadas com princípio de LED (*Light Emitting Diode* ou diodo emissor de luz) suplantou a de LF (CONLEY, 2010), bem como houve redução de seu custo de aquisição. Isto tem provocado à diminuição do uso de LF, o que também gerará descarte precoce das LF em desuso, ou seja, maior demanda de reciclagem de LF num futuro próximo, mas que deixará de existir em médio ou, relativamente, longo prazo.

7.2. COMPONENTES DA PORÇÃO TUBULAR DA LÂMPADA FLUORESCENTE

As LF tubulares e compactas apresentam composições mássicas distintas em si. As tubulares são compostas (Figura 4) por um tubo de vidro contendo gás inerte (argônio), pó de barreira de alumina e sílica e PFF (que contém REE) sobre sua superfície interna, mercúrio, eletrodo (tungstênio), pinos de latão (liga de cobre e zinco) para contato elétrico, fio de cobre-níquel para ligar os pinos de latão ao eletrodo, cápsulas de alumínio em suas extremidades, isolamento de poliacrílico e resina de colagem. Já as compactas apresentam adicionalmente uma porção eletrônica no seu corpo, como citado anteriormente, e outra porção mássica significativa em cerâmica, plástico ou ambos (BINNEMANS et al, 2013; CONLEY, 2010; RABAH, 2004; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2011).

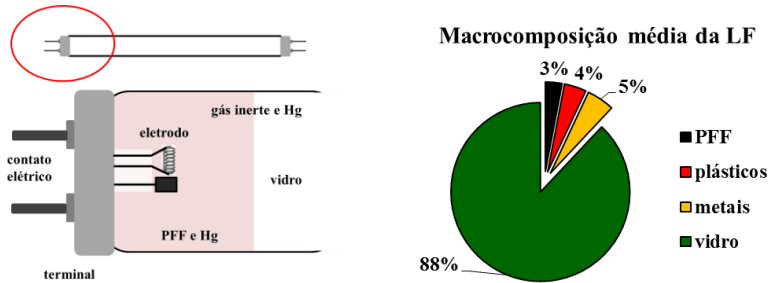


Figura 4 – Esquema da lâmpada tubular e sua composição
 Fontes: O autor (a esquerda) e adaptado de BINNEMANS; JONES (2014) (a direita).

7.3. CUIDADOS ESPECIAIS NA LOGÍSTICA REVERSA DE LÂMPADA FLUORESCENTE

A LF deve estar íntegra ao ser manuseada, coletada e transportada para reciclagem devido ao mercúrio (Hg) e diversos outros componentes. A LF é preponderantemente vidro (0,18 kg; 90,00%) e a massa do PFF (0,01 kg; 5,00%) é similar aos componentes dos terminais (0,01 kg; 5,00%).

No entanto, o baixo teor de Hg dissolvido no gás inerte e no PFF não deve ser menosprezado a nível global (TECHATO, WATTS, CHAIPRAPAT, 2009), bem como pessoal (EPA, 2014). Neste sentido, quando uma LF se quebra em um ambiente fechado, parte do Hg é liberada imediatamente na forma de vapor e o restante desorverá do PFF por mais tempo. Logo, em caso de acidentes, todas as pessoas devem evadir imediatamente do ambiente e promover uma ventilação natural ou artificial por 5 a 10 min para renovação do ar. A seguir, somente uma pessoa deve remover cuidadosamente os fragmentos com auxílio de papel e/ou fita adesiva e coloca-los em frasco hermético e identificado para descarte como RS perigoso. Dispositivos para aspiração são contraindicados para evitar a dispersão do Hg retido no PFF (EPA, 2014).

7.4. ESTADO ATUAL DA RECICLAGEM DA LÂMPADA FLUORESCENTE

O controle de emissão do Hg de LF tem sido amplamente relatado (DAVIS, 2001; IMERC, 2008; TUNSU, RETEGAN, EKBERG, 2011). Para tal, as LF podem ser trituradas em ambiente enclausurado e seus gases e vapores de Hg serem emitidos e retidos, respectivamente. Similarmente, os fragmentos menores são selecionados por peneiramento e tratados termicamente para recuperação do Hg por condensação. A eficiência de recuperação varia (69 a 93%) dependendo do tipo de LF, sendo o último valor foi para a LF com cátodo frio. Esse fenômeno foi atribuído à interação Hg-PFF

(CHANG et al, 2009). A eficiência aumenta com o uso de temperaturas mais elevadas e quando os fragmentos maiores são previamente removidos (BINNEMANS; JONES, 2014; CHANG et al, 2009; TECHATO, WATTS, CHAIPRAPAT, 2009). Estudo laboratorial confirmou essa evidência, sendo que o Hg puro é volatilizado a menor temperatura (50 -250 °C), do que seu sulfeto (300 - 380 °C) e o amálgama de Hg ou os resíduos de PFF (550 - 850 °C) (CHANG et al, 2012).

Isto possibilita o reuso da maior parte do Hg, sendo que uma parte não seria totalmente removida do PFF ou ficara retida no filtro da limpeza do gás de exaustão. Logo, esses RS deverão ser destinados a aterro de resíduos perigosos. Por exemplo, para Taiwan, a análise de fluxo de material (MFA = *material flow analysis*) para investigação do gerenciamento e disposição de lâmpadas com Hg de indústrias de alta tecnologia em Taiwan revelou que foram usados 886 kg de Hg no ano de 2004; 198 kg produzidos no país e 688 kg importados (CHANG et al, 2007a).

As LF com cátodo frio (57 kg) e ultravioleta (2 kg) exportadas, bem como as defeituosas (7 kg), e o Hg usado em indústrias de alta tecnologia perfazem quase esse valor (820 kg). A maior parte do Hg foi exportada como lâmpada (463 kg) e outra parte como componentes desta (57 kg). Estimou-se também que 165 kg (18,6% do total) de Hg foram desperdiçados, sendo que 140 kg de Hg foram tratados através do processo de tratamento de resíduos, enquanto que 25 kg de Hg foram perdidos para o meio ambiente. Os 140 kg de Hg foram processados em tratamento de efluente doméstico (80 kg, 57%) ou industrial (53 kg, 38%), sendo que uma parte foi emitida ao ar (7 kg, 5%). Esta experiência revelou que a recuperação do Hg (quase 82%) usa uma tecnologia simples e com boa eficiência, mas deve ser melhorada. A recuperação dos demais metais da LF, inclusive do PFF, deve também ser realizada (Chang et al, 2007a).

Sob outra perspectiva, o teor de Hg nas LF tem sido paulatinamente reduzido de ano a ano (APISITPUVAKUL et al, 2008, NEMA, 2005), o que pode afetar um pouco essa estimativa. Por exemplo, o teor de Hg na LF tubular de 120 cm reduziu 83%, de 48,2 para 8,2 mg de 1985 para 2001 (NEMA, 2005).

7.5. PERSPECTIVAS DA RECICLAGEM COMPLETA DA LÂMPADA FLUORESCENTE

Quanto à reciclagem completa da LF, o PFF aparece como o ponto crítico. O vidro das LFs maiores pode ser reusado para produção de LF tubulares menores, reciclados para produção de novos tubos de LF ou outros artefatos de vidro (RABAH, 2004, RABAH, 2008). Do mesmo modo, os demais metais podem ser usados na produção de ligas metálicas com relativa facilidade (RABAH, 2004). A reciclagem do PFF é mais complexa, mas pode ser separada pela escovação interna dos tubos pré-cortados próximos dos terminais (RABAH, 2008) ou isolado como fração fina das LFs totalmente fragmentadas (BINNEMANS; JONES, 2014). Após a separação dos demais macrocomponentes das LF

tubulares (97% em peso, Figura 4, direita), a fração mais fina fica enriquecida com haloapatitas (Figura 5, esquerda), sílica e micropartículas de vidro, alumina, sais de REE (podendo variar entre 10 e 20% em peso) e fração residual não classificada (BINNEMANS; JONES, 2014).

Assim, deveria ser reciclada para recuperação de alguns REE (Figura 5, direita), ou pelo menos o de maior teor relativo (Y) (BINNEMANS; JONES, 2014), mas não tem sido realizada comercialmente devido ao desconhecimento da existência de sua demanda e de tecnologia factível, que será descrita a seguir; preferindo destinar a aterro (APISITPUVAKUL et al, 2008).

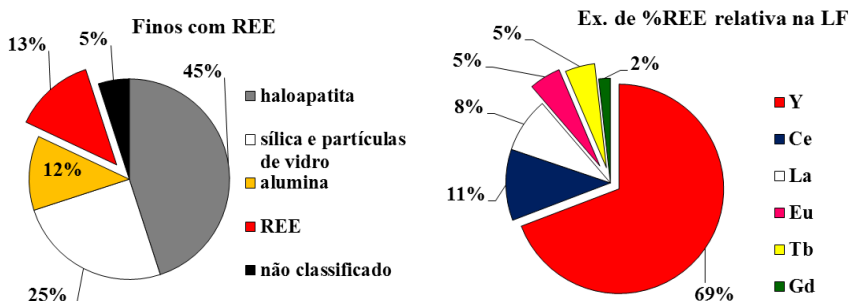


Figura 5 – Componentes do PFF e a composição relativa dos REE na fração enriquecida
 Fonte: Adaptado de BINNEMANS; JONES (2014).

8. RECUPERAÇÃO ELEMENTOS DE TERRAS RARAS DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES

8.1. OS ELEMENTOS DE TERRAS RARAS

Um conjunto de 17 elementos (Figura 3) é considerado REE (*Rare Earth Elements* ou REE), sendo 15 lantanídeos (número atômico 57 a 71), o escândio (Sc: Z = 21) e o ítrio (Y: Z = 39). São geralmente subdivididos em dois subgrupos de acordo com as diferenças nas propriedades físicas e químicas, os leves e os pesados. Os leves incluem os sete primeiros lantanídeos, de La a Gd. Os pesados incluem os demais lantanídeos, além do Sc e Y (SERRA, 2011).

REE é uma denominação equivocada, pois nem sempre são raros. Por exemplo, os mais abundantes apresentam concentração na crosta terrestre similares a metais industriais comuns, como cromo, níquel, cobre, zinco, molibdênio, estanho, tungstênio ou chumbo (Figura 2). Mesmo os dois menos abundantes (Tm, Lu) são quase 200 vezes mais

comuns que o ouro. No entanto, os REE têm muito pouca tendência a se concentrarem em depósitos exploráveis de minério em contraste com os metais comuns e os preciosos.

Logo, a maior parte do suprimento mundial de REE vem de apenas algumas fontes. As diferenças na abundância individuais de REE na crosta continental superior da Terra (Figura 2) são decorrentes a superposição de dois fatores, um nuclear e outro geoquímico. No primeiro caso, REE com números atômicos pares (58Ce, 60Nd, ...) têm maior abundância cósmica e terrestre do que REE ímpares (57La, 59Pr,...). Em segundo lugar, os REE mais leves são mais incompatíveis (porque possuem raios iônicos maiores) e, portanto, mais fortemente concentrados na crosta continental do que os REE mais pesados. Ainda, os primeiros quatro REE (La, Ce, Pr e Nd) constituem 80 a 99% do total na maioria de seus depósitos. Portanto, depósitos contendo níveis relativamente altos do REE pesado são mais escassos e mais valiosos (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2011).

8.2. APLICAÇÕES E PRODUÇÃO DE ELEMENTOS DE TERRAS RARAS

Os REE e seus compostos apresentam uma gama crescente de aplicações, como dopante do PFF de LF, catalisadores automotivos, metais, ímãs permanentes de alta intensidade, catalisadores da indústria do petróleo, aditivo para vidro, material para polimento e cerâmicas (JORDENS, CHENG, WATERS, 2013; USA EERE, 2009; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2009). No caso do PFF, há ítrio (Y), európio (Eu) e térbio (Tb). Três dos mais críticos de elementos de terras raras com demanda reprimida (Figura 3), bem como cério (Ce), lantânio (La) e gadolínio (Gd) (BINNEMANS; JONES, 2014).

Apesar de serem relativamente abundantes na crosta terrestre, os REE geralmente não se concentram em depósitos exploráveis como outros metais (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2009). Há mais de 250 diferentes minérios de REE (JORDENS, CHENG, WATERS, 2013), mas somente a bastnaesite (fluorocarbonato mineral), monazite (minério de fosfato) e xenotime (fosfato de ítrio) são viáveis de serem explorados. Geralmente os REE estão misturados com outros minerais e requerem um processo de purificação dispendioso. Eles são beneficiados por técnicas baseadas em gravidade, campo magnético, força eletrostática e por flotação e sua viabilidade econômica exige que haja grandes depósitos.

Jazidas exploráveis não são frequentemente encontradas, o que é reforçado pelas disponibilidades natural e demandas industriais incongruentes (USA EERE, 2009; U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2012). Assim, La, Ce, Pr e Nd são quase a totalidade dos depósitos e Gd, Lu, Y e Eu são os mais escassos e os mais valiosos (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2012). Logo, uma grande quantidade de minério de REE precisa ser processada para obtenção mínima dos elementos mais requisitados, o que desestimulou a produção em quase todos os países. Atualmente, a China se tornou o maior produtor mundial (97% destes metais e centenas de seus sais e óxidos) e criou regras de cotas de produção para

controle de estoques (MREL, 2013; U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2012), o que está incentivando que Austrália, Canadá, Estados Unidos da América, Groenlândia, Índia e Rússia reiniciem a exploração de seus minérios (JORDENS, CHENG, WATERS, 2013; US DEPARTMENT OF ENERGY, 2011).

Concomitantemente, a recuperação dos REE de sucatas pré-consumo, resíduos industriais e produtos sem uso também passa a ser admitida. Três grandes fontes (imã permanente, bateria de níquel-metal-hidreto e PFF de LF) apresentam maiores perspectivas de reciclagem com concomitante minimização de impacto ambiental (BINNEMANS et al, 2013).

8.3. RELAÇÕES DA COMPOSIÇÃO DO PÓ LUMINESCENTE DE FÓSFORO E A EMISSÃO LUMINOSA

O PFF é aplicado na superfície interna do vidro da LF para produzir a fluorescência com intensidade e cor pré-estabelecida (USA EERE, 2009; RONDA, JÜSTEL, NIKOL, 1998). Esse pó consiste de um substrato inorgânico dopado com outros componentes inorgânicos, os quais absorve energia eletromagnética ultravioleta (UV) e libera-a na forma de energia luminosa.

Até o final dos anos da década de 70, a haloapatita, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl}):(\text{Sb},\text{Mn})$, era o principal sal usado em LF para propósito de iluminação em geral. A radiação UV gerada pela descarga do Hg é absorvida pelo Sb^{3+} e parcialmente transferida para o Mn^{2+} . A combinação da cor da luz emitida azul pelo Sb (Sb^{3+}) e da amarela pelo Mn (Mn^{2+}) resulta numa luz branca com moderada eficiência luminosa ($75 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$) e um relativamente baixo CRI (*colour rendering index*, cerca de 50 a 60), que é o índice de referência da cor visível. A dopagem com REE permitiu melhorar as duas propriedades, 100 e $80 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, respectivamente, e seu uso de alguns sais de elementos se tornou comum.

Mais recentemente, os sais do PFF contêm sais de Y, Ce, La, Eu, Tb e Gd (JORDENS, CHENG, WATERS, 2013). O Pr e o Lu também apresentam propriedades luminescentes, mas não são citados (RONDA et al, 1998). Os três REE mais comumente usados nas misturas são o Y, Eu e o Tb. Algumas composições de PFF foram reportadas (Tabela 1).

A cor produzida varia de acordo com a composição dos subgrupos de sais, sendo vermelha ($\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}$), verde ($\text{LaPO}_4:\text{Ce},\text{Tb}$) e azul ($\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}$ ou $(\text{Sr},\text{Ca},\text{Ba})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}$). A quantidade relativa de cada um depende da cor de emissão que se deseja. Por exemplo, a mistura de 55% para cor vermelha, 35% para verde e 10% para azul é citada como uma mistura comum (IMERC, 2008). O PFF também apresenta alguns componentes com alta toxicidade, como F, Sb, Ba, Hg e Pb (EPA, 2009b).

Assim posto, a filosofia de fluorescência afeta diretamente a composição do PFF aplicado na LF, bem como a escolha da opção de separação/reciclagem, estabilização ou

ambas são recomendadas para a reciclagem ou destinação em aterros especiais (APISITPUVAKUL et al, 2008).

Tabela 1 - Composições de pó luminescente de fósforo sem uso e recuperado da reciclagem

Componente	CaO	P ₂ O ₅	Y ₂ O ₃ ^a	F ^b	Al ₂ O ₃	SrO	Sb ₂ O ₃ ^b	MnO	La ₂ O ₃ ^a	C	BaO ^b	Cl	Gd ₂ O ₃ ^a	Tb ₂ O ₃ ^a
Sem uso ¹	50,9	35,7	3,28	2,48	1,21	1,14	1,04	0,8	0,79	0,63	0,54	0,5	0,2	0,2
Recuperado ¹	49,5	34,9	3,09	2,43	1,16	1,13	0,91	0,82	0,97	0,7	0,83	0,44	nds	0,16
De reciclagem ²	55	21	8,1	nr	nr	3,9	0,9	1,88 ^e	2,1	nr	1,2	0,35	nr	0,62
De reciclagem ³	25,32 ^{a,d}	28,15 ^d	1,65	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr

Componente	Eu ₂ O ₃ ^a	SiO ₂	ZnO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	SO ₃	HgO ^b	GeO ₂	PbO	MgO	CeO ₂ ^a	TiO ₂	Outros
Sem uso ¹	0,18	0,14	0,1	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	nds	nds	nr	nr	nr
Recuperado ¹	0,19	1,88	0,02	0,12	0,33	0,06	nds	0,02	0,23	0,09	nr	nr	nr
De reciclagem ²	0,51	1,9	0,13	0,47	nr	nr	0	nr	nr	nr	1	0,18	0,34
De reciclagem ³	1,62	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	0,63

Em fundo cinza são os REE. nr = não relatado, nds = não descrito o significado, ^a REE; ^b elemento tóxico, ^c 34,48 (CaSO₄); ^d 61,52 (Ca₃(PO₄)₂); ^e 2,3 (MnO₂)
 Fontes: Adaptado de ¹Chang et al, 2007b; ²Hirajima et al, 2005a; ³Rabah, 2008

8.4. RECUPERAÇÕES DAS FRAÇÕES DO PÓ FOSFÓRICO LUMINESCENTE

Os estudos de recuperação dos REE geralmente têm sido relatados para uma ou mais operações unitárias, mas normalmente sem detalhar o processo inteiro. Podem ser subdivididas em três métodos: reuso direto do PFF, reciclagem dos componentes individuais do PFF por meio de métodos físico-químicos de separação para reutilização em novas lâmpadas e ataque químico do PFF para recuperar os REE e produzir seus sais.

As duas primeiras filosofias têm como grandes desvantagens a deterioração do PFF ao longo do tempo de vida da LF e a diferença de sua composição. A separação dos componentes também apresenta dois agravantes: as pequenas diferenças de tamanho e de densidade das partículas. Por exemplo, há também uma barreira de alumina e de sílica entre o vidro e o PFF, o que aumenta a complexidade da mistura e, conseqüentemente, da separação. Essa barreira é inevitável, pois protege o tubo de vidro contra a deposição do Hg e sua diminuição na fase gasosa; logo, sua luminosidade. Igualmente, também é

responsável por refletir a radiação ultravioleta que passa pela camada de PFF e, que se propagaria para o exterior com potencial dano a saúde (BINNEMANS et al, 2013).

As composições qualitativa e quantitativa do PFF (*Chung-Tai Resource Technology Corp.*) para confecção de LF e do PFF obtido da reciclagem são similares (CHANG et al, 2007b), mas podem variar muito devido à cor de emissão de luz e da tecnologia dos fabricantes (IMERC, 2008). Assim, o sistema *MRT End Cut Machine* (ECM 5000, Karlskrona, Suécia) considerada esse fato para reciclagem de LF tubulares. As LF identificadas pelo código de barras são alimentadas automaticamente e sofrem corte dos terminais. Seu interior é soprado para remoção do PFF e do Hg residual. O PFF é recolhido em tambores específicos abaixo do ciclone de separação do pó e fase gasosa. As emissões atmosféricas de Hg são insignificantes após o sistema de purificação. A desorção do Hg residual do pó é realizada a 800 °C e também elimina possíveis resíduos orgânicos. Ao final, o pó é peneirado para eliminar fragmentos de vidro e eletrodos. Os teores do pó antes e depois são muito parecidos, exceto para o Gd, que não apareceu no PFF recuperado. O teor de óxido de Si (componente de vidro e da barreira de alumina-sílica) é superior no PFF recuperado e tratado termicamente. Hg não foi detectado (CHANG et al, 2007b). Relembrando que a fração mais fina dos fragmentos pode ser enriquecida com haloapatitas, sendo que os sais de sais de REE variam de 10% a 20% em peso (Figura 5, esquerda) (BINNEMANS; JONES, 2014). Outro aspecto positivo, é que sua composição relativa é preponderantemente formada pelo Y (Figura 5, direita) (JORDENS, CHENG, WATERS, 2013) que, junto com Eu e Tb, tem grande demanda industrial.

8.5. POTENCIAIS DE RECICLAGEM DE ELEMENTOS DE TERRAS RARAS DO PÓ FOSFÓRICO LUMINESCENTE

A possibilidade de reciclagem REE dos componentes do PFF (BINNEMANS et al, 2013; TUNSU, RETEGAN, EKBERG, 2011) é reforçada quando se compara com seus minérios que tem sido alvo de extração devido à demanda reprimida (TUNSU, RETEGAN, EKBERG, 2011). Por exemplo, a fluorita de El Missikat no Egito tem sido descrita como uma potencial fonte de REE (3,41% Y, 4,68% Ce, 1,65% La, 0,40% Pr, 0,52% Eu, 0,72% Gd, 0,13% Sm) (IBRAHIM, EL-HUSSAINI, 2007). Ainda, a reciclagem do PFF é mais simples do que a de ímãs permanentes (BINNEMANS et al, 2013) e é favorecida pelo potencial econômico e ambiental (SERRA, 2011).

A reciclagem dos REE presentes no PFF tem sido relatada em estudos laboratoriais e em escala piloto aplicando filosofia de separação do PFF em subgrupos de acordo com emissão de cor ou de dois de seus elementos (Y, Eu). Na primeira possibilidade, algumas operações são descritas para sua separação, como flotação (HIRAJIMA et al, 2005a), centrifugação fluído de alta densidade (HIRAJIMA et al, 2005b), extração líquido-líquido (GUANGJUN et al, 2009) e extração supercrítica com dióxido de carbono. Outra

possibilidade é a separação seletiva com uso de dióxido de carbono supercrítico (SHIMIZU et al, 2005). Alternativamente, a hidrometalurgia pode recuperar exclusivamente o Y e, eventualmente, Eu também. Essencialmente, esses são obtidos pela dissolução ácida seletiva do PFF com uso de ácido sulfúrico (MICHELIS et al, 2011) ou da mistura ácido sulfúrico e nítrico (RABAH, 2008). Ambos os processos demanda diversas operações de separação seletiva com rotas peculiares.

8.5.1. SEPARAÇÃO DOS SUBGRUPOS DE ÓXIDOS DE TERRAS RARAS

As três frações de PFF amplamente utilizadas para produzir cores seletivas, vermelha ($Y_2O_3:Eu^{3+}$), verde ($CeMgAl_{10}O_{17}:Tb^{3+}$) e azul ($BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$), podem ser separadas com uso da extração líquido-líquido (GUANGJUN et al, 2009). A primeira operação seletiva separa o “pó azul” de uma solução aquosa alcalina (pH = 10,3) contendo o quelante TTA (“2-tenoiltrifluoracetona”) com uso de heptano. A seguir, a solução aquosa contendo o “pó verde” e “pó vermelho” é submetida à nova extração com uso de clorofórmio e uma pequena quantidade de 1-pentanol. O “pó verde” se desloca para fração orgânica enquanto que o “vermelho” permanece na fase aquosa, a qual também deve conter tartarato de sódio e potássio como depressor.

Portanto, os três sais de fósforos podem ser separados com sucesso. O teor e a eficiência de recuperação dos componentes de PFF atingiram, respectivamente, 96,9% e 95,2% para o pó de cor vermelha, 82,7% e 98,8% para o pó de cor azul e 94,6% e 82,6% para o pó de cor verde de uma mistura artificial dos mesmos (GUANGJUN et al, 2009). Ainda há a necessidade de realizar estudos com PFF de LF submetido à remoção térmica do mercúrio dos diversos fabricantes.

Hirajima et al (2005a) avaliaram a operação unitária de flotação como processo de enriquecimento de REE. Os experimentos foram realizados com amostras puras de sais com padrão de cor branco (halofosfato de cálcio) e pós de cores vermelha, verde e azul. Uma mistura artificial na proporção 17:1:1 foi utilizada para determinar condição ideal de pH, agente surfactante e necessidade de agente de depressão. Esse sistema conseguiu separar os sais de cores de vermelha e verde dos demais componentes. A separação dos componentes de um PFF sem mercúrio obtido por reciclagem exigiu dois estágios para ter um bom potencial de enriquecimento para uso de surfactante como o acetato de dodecil amônio, associado a silicato de sódio como agente depressor, ou como o dodecil sulfato de sódio. Hirajima et al (2005b) relataram que o enriquecimento de REE com uso de centrifugação em meio com CH_2I_2 , como agente para aumentar a densidade do meio, é viável em âmbito laboratorialmente, sendo que a recuperação do solvente é viável tecnicamente, mas apresenta custo elevado e alta toxicidade.

Shimizu et al (2005) relataram a extração de ítrio e európio dos demais componentes de PFF com dióxido de carbono supercrítico contendo fosfato de tri-n-

butilo em solução de ácido nítrico como agentes complexantes (TBP:HNO₃:H₂O foi 1,0:1,8:0,6; razão molar). A eficiência dessa operação atingiu 99,7% para o Y e 99,8% para o Eu para 120 min de exposição a 60 °C e 15 MPa. Essa extração foi seletiva em relação ao La, Ce e Tb. Há outros estudos laboratoriais baseados em flotação com solventes em duas fases e em diferença da suscetibilidade magnética (BINNEMANS et al, 2013).

De qualquer modo, os métodos de separação não revelaram rendimento elevado e especificidade para amostra real devido à diferença dos PFF dos fabricantes e para a cor da LF. Ainda, o PFF se deteriora durante o uso da LF devido à exposição da radiação UV ao bombardeamento por átomos do Hg e de íons. Por exemplo, o Hg se acumula na camada de fósforo ao longo do tempo de uso. Finalmente, os métodos de separação muitas vezes produzem alterações na distribuição de tamanho de partícula das substâncias fosforescentes. Logo, a qualidade dos componentes reciclados do fósforo é inferior ao do produto de primeiro uso. A reciclagem direta de PFF é recomendada apenas para o caso especial em que os produtores de lâmpadas podem reciclar os fósforos de suas próprias LF dispensadas.

Philips Lighting e a companhia de reciclagem *Indaver* estão em fase laboratorial de um sistema baseado em reuso do PFF da LF. Para tal, as LF são estimuladas por um momento curto para determinar seu espectro de emissão; cor e intensidade. Como cada mistura de fósforo tem um espectro de emissão específico, a composição de fósforo real pode ser determinada a partir do experimento, para permitir seu reuso. A seguir, as extremidades da LF são cortadas e o PFF é removido por sopro para ser coletado e armazenado em reservatórios específicos, o que permite a separação consoante os diferentes tipos de lâmpadas e a realização de operação de readequação do PFF para reuso (BINNEMANS et al; 2013).

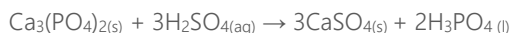
De modo geral, todavia, a complexidade e a especificidade da reciclagem para reuso do PFF são empecilhos que dificultam a viabilidade técnica e econômica do procedimento.

8.5.2. SEPARAÇÃO COM DISSOLUÇÃO DOS ÓXIDOS

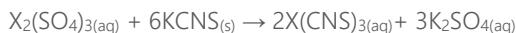
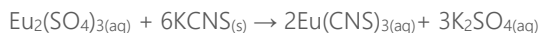
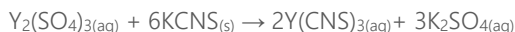
Produção de ítrio e európio metálicos

Rabah (2008) propôs a recuperação de Y e Eu metálicos. Para tal, a LF íntegra é lavada com água para remoção de sujeira superficial. Os terminais são removidos das LF imersas em uma solução de acetona a 30% para evitar emissão do Hg. O PFF é removido a úmido do interior dos tubos com auxílio de escova cilíndrica compatível com o diâmetro (RABAH, 2008). O vidro segue para reuso ou como matéria-prima. Os metais podem ser recuperados, processados e comercializados (RABAH, 2004). A mistura heterogênea de PFF e água é filtrada e lavada com água e, em seguida, o filtrado retorna ao processo. O

bolo de filtração é secado a 110 °C e armazenamento. Sua composição era 61,52% de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 34,48% de CaSO_4 , 1,65% de Y_2O_3 , 1,62% de Eu_2O_3 e 0,63% de outros sais. O PFF é lixiviado sob pressão (5 MPa, 125 °C, 4h) com uma mistura de ácidos (sulfúrico e nítrico a 4 mol.L⁻¹) dissolvendo a maioria do Y (96,4%) e do Eu (92,8%), enquanto que o cálcio reage com sulfato e fica insolúvel (CaSO_4). O Ca^{2+} residual da solução aquosa precipita como oxalato e é removido por filtração.



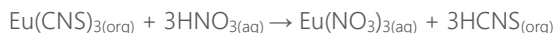
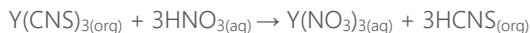
Tiocianato é adicionado e produz tiocianato de Y e de Eu, que são extraídos a 80 °C da fração aquosa por solventes orgânicos (cloreto de trimetil-benzil-amônio, N-tributilfosfato, metiletilcetona e álcool etílico). A seguir, a fração orgânica é misturada com uma solução aquosa de HNO_3 (1 mol.L⁻¹) contendo N-tributilfosfato a 125 °C. Os sais de Eu, de Y e de outros elementos (X) se dissolvem e o solvente é regenerado com aquecimento suave.



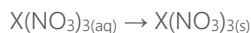
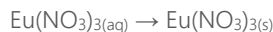
e depois



e depois



Etanol é adicionado à solução aquosa com os sais de nitrato, sendo que o nitrato de Y permanece solúvel, enquanto os nitratos de Eu e de outros cátions contaminantes precipitam. A filtração é feita para se obter o nitrato de európio e de outros cátions como resíduo sólido.



Os nitratos de ítrio e de európio devem ser submetidos à redução térmica (1575 °C e 850 °C, respectivamente) a fim de que se transformem em metais de cada elemento, os quais se supõem, estarão na forma de sólido por concentração das soluções salinas (RABAH, 2008).

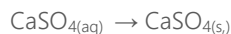
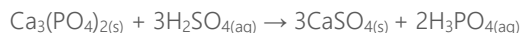
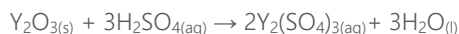


Esse processo foi realizado com 5000 LF. Seu estudo econômico revelou que os diversos gastos, com a logística de reprocessamento (compra do resíduo, transporte e armazenamento), os reagentes e energia, são inferiores as receitas geradas pela venda dos metais, Y e Eu, mas um detalhamento maior econômico e do processo foi recomendado (RABAH, 2008).

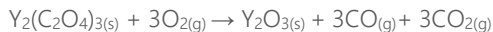
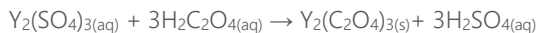
Produção de óxido de ítrio

Michelis et al (2011) descreveram um processo para produzir oxalato de ítrio (Figura 6, vermelho), o qual pode ser transformado em óxido de ítrio. A recuperação do PFF deve ser feita sem a moagem da LF para não diluir o PFF com fragmentos de vidro. Assim, a concentração relativa é sete vezes maior e que pode ser solubilizado com ácido clorídrico, nítrico ou sulfúrico.

Os usos de ácidos clorídrico ou nítrico apresentam a desvantagem de produzir desprendimento de seus vapores, além da produção de gases tóxicos (NO, NO₂ e N₂O). Ademais, o uso de ácido sulfúrico deixa os íons cálcio na fase insolúvel. A relação ideal PFF:ácido é de 20% (m/v) para ácido sulfúrico a 4N a 90 °C. O rendimento de solubilização atingiu 85% de Y. Após resfriamento, o CaSO₄ torna-se insolúvel e é separado por filtração.



A solução é tratada com ácido oxálico para precipitar o Y com pureza de 99%. O oxalato de Y é calcinado entre 800 e 1000 °C para gerar óxido de Y.



O processamento de 1.000 t.ano⁻¹ de LF (Figura 6) produz de 7 t.ano⁻¹ de oxalato de Y de alta pureza, ou seja, 3,58 t.ano⁻¹ de óxido de ítrio; sendo economicamente viável com a concomitante reciclagem dos demais componentes das LF. Há uso de insumos (em verde) industriais, mas com geração de diversas matérias-primas secundárias (azul); entre eles, o oxalato de ítrio que pode ser facilmente transformado no seu óxido com alta pureza (MICHELIS et al, 2011).

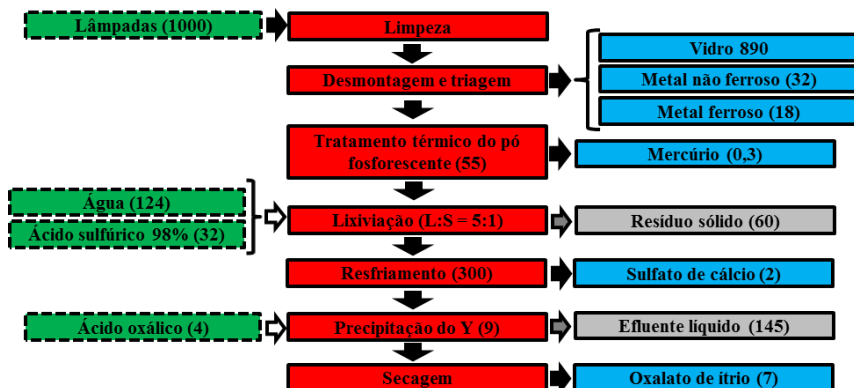


Figura 6 - Diagrama de blocos da reciclagem de 1.000 t de LF dispensada com as operações (vermelho) e insumos (verde), efluentes (cinza) ou produtos (azul) em toneladas.

Fonte: Adaptado de MICHELIS et al, 2011.

9. TECNOLOGIA FACTÍVEL PARA RECICLAGEM QUASE TOTAL DA LÂMPADA FLUORESCENTE

A reciclagem das LF tubulares pode ser feita pelo corte próximo aos terminais ou pela quebra de todo o vidro (TINSU et al, 2011). O vidro apresenta um bom valor agregado e pode ser reciclado para produção de novas lâmpadas ou de outros produtos vítreos. A LF tubular de 120 cm e a de 60 cm apresentam composição similares (RABAH, 2008), sendo que as tubulares de 120 cm foram relatadas como mais comuns (83%). O principal componente da LF de 120 cm era o vidro (94,955% da massa total).

O mercúrio (0,005%) da fase gasosa e do PFF deve ser recuperado em razão de sua toxicidade. A separação cuidadosa dos componentes metálicos, Al (1,358 %), Cu-Zn (latão, 0,157%) Cu-Ni (0,104%) e W (0,444%), permitem sua reciclagem com facilidade (RABAH, 2008). Assim, alumínio com especificação DIN 1712, liga de Ni-Cu com menos de 0,1% de Sn, Sn metálico e diferentes sais de cloreto podem ser produzidos por pirohidrometalurgia e ser facilmente comercializados (RABAH, 2004).

A resina (0,627%) de adesão dos terminais é de difícil reciclagem e deve ser incineradas/coprocessada para produção de energia térmica, evitando a destinação a aterro controlado.

O PFF (2,350%) (RABAH, 2008), previamente enriquecido a 45% de REE por peneiramento se for lâmpadas quebradas (BINNEMANS; JONES, 2014), deve ser dissolvido por ação ácida e ser separado seletivamente para obtenção de Y (MICHELIS et al, 2011) e, eventualmente, também Eu (RABAH, 2008). A pequena parcela não recuperada deve ser destinada a aterros controlados, sendo que, preferencialmente, deve ser estabilizado com a incorporação em blocos cimentícios (APISITPUVAKUL et al, 2008).

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A destinação de RS urbano a aterros sanitários pode produzir emissões gasosas e líquidas deletérias. A incineração surgiu como uma alternativa menos nociva, mas também pode emitir gases tóxicos e produz mistura de óxidos perigosos em fase sólida. Assim, ambas tem sido aceitas para a maioria dos resíduos, sendo que a legislação brasileira preconiza que alguns RSs com componentes altamente deletérios sejam submetidos à logística reversa.

Assim, a logística reversa deve ser realizada para as LFs, sendo que os reatores das tubulares são dispositivos eletroeletrônicos e também recebem o mesmo cuidado. Neste caso, seguindo uma filosofia própria de tratamento. Ainda, a logística reversa demanda a aplicação de coleta seletiva com necessidade continuada de motivação dos entes envolvidos desde a produção/importação, comercialização, uso e tratamento tecnológico para recuperação de matéria. Essa filosofia tem sido estimulada pela demanda reprimida de alguns metais.

No caso da LF, o Hg tem sido o componente mais recuperado, apesar de sua baixa composição mássica, sendo atribuído ao seu elevado efeito deletério. Sua porção tubular de vidro é rompida e o Hg tem sido recuperado por volatilização e condensação. A recuperação dos demais componentes como matéria-prima secundária é menos frequente, mas pode ser realizada para o vidro, alumínio, latão de cobre-zinco, tungstênio e liga de cobre-níquel.

Os polímeros de poliacrileno do isolamento e a resina da colagem podem ser usados em coprocessamento para recuperação de energia química. A fração eletroeletrônica e também necessita ser reciclada, ressaltando que no caso da tubular está fora do dispositivo em si.

Por último, o PFF termicamente descontaminado de Hg pode ser uma fonte de REE escassos, mas não tem sido identificado em escala comercial. Esses processamentos podem ocorrer por:

- a) reutilização da mistura de fósforo da lâmpada;
- b) separação da mistura de fósforo da lâmpada nos diferentes componentes do fósforo;
- c) hidrometalurgia do PFF para recuperação de Y e, eventualmente, Eu. Esta última opção parece ser factível e deve ser experimentada em escala comercial.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBA, A. H., NOOR, Z. Z., YUSUF, R. O., DIN, M. F. M. D., HASSAN, M. A. A. Assessing environmental impacts of municipal solid waste of Johor by analytical hierarchy process. *Resources, Conservation and Recycling*. V. 73, p. 188–196. 2013.

APISITPUVAKUL, W, PIUMSOMBOON, P., WATTS, D. J., KOETSINCHAI, W. LCA of spent fluorescent lamps in Thailand at various rates of recycling. *Journal of Cleaner Production* v. 16, p. 1046-1061. 2008.

BINNEMANS, K.; JONES, P.T. Perspectives for the recovery of rare earths from end-of-life fluorescent lamps. *Journal of Rare Earths*, v. 32, n. 3, p. 195-200. 2014.

BINNEMANS, K.; JONES, P.T; BLANPAIN, B.; GERVEN, T. V.; YANG, Y.; WALTON, A.; BUCHERT, M. Recycling of rare earths: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, v. 51, p. 1-22. 2013.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Política nacional de resíduos sólidos*. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/VgwbyY>>. Acesso em: 09 julho 2018.

CHANG, T. C., YOU, S. J., YU, B. S., KONG, H. W. The fate and management of high mercury-containing lamps from high technology industry. *Journal of Hazardous Materials*, v. 141, p. 784–792. 2007a.

CHANG, T.-C., WANG, S.-F., YU, S.-J., CHENG, A. Characterization of halophosphate phosphor powders recovered from the spent fluorescent lamps *Journal of Environmental Engineering and Management*, v. 17, n. 6, p. 435–439. 2007b.

CHANG, T. C., YOU, S. J., YU, B. S., CHEN, C. M., CHIU, Y. C. Treating high-mercury-containing lamps using full-scale thermal desorption technology. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, p. 967–972. 2009.

CHANG, T. C., FAN, K. S., CHEN, C. M., CHIU, Y. C., 2012. Treatment and recovery of mercury from discarded artificial light sources by thermal desorption technology. In: 3rd International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management. *Anais of 3rd CRETE*. 1–8. Acesso em: 06 julho 2012.

CHAPMAN, P. F., ROBERTS, F. *Metal Resources and Energy*. London: Butterworth and Co. Ltd., 1983. 256p.

CONLEY, B. *Lighting Solutions*. In: *Sustainability “How-To Guide” Series*. IFMA Foundation. 39p. 2010.

CORREIA, J. L. S. *Como recuperar uma lampada fluorescente queimada*. Youtube, 2 dez. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/nnnKv6>>. Acesso em: 01 agosto 18.

CUI, J. e FORSSBERG, E. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials*, v. B99, p. 243–263. 2003.

DAVIS, S. *Survey and initial evaluation of small on-site fluorescent lamp crushers*. Final report Office of Pollution Prevention and Technology Development. Department of Toxic Substances Control. 2001. 31p.

EPA. Environmental Protection Agency. *Fluorescent lamp recycling*, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/RuPftS>>. Acesso em: 09 julho 2018.

EPA. Environmental Protection Agency. *What to Do if a Compact Fluorescent Light (CFL) bulb or fluorescent tube light bulb breaks in your home*, 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/vfaoc5>>. Acesso em: 09 julho 2018.

GUANGJUN, M., PENG, R., MATSUDA, M., FUJITA, T. Separation of Red (Y₂O₃:Eu³⁺), Blue (BaMgAl₁₀O₁₇:Eu²⁺) and Green (CeMgAl₁₀O₁₇:Tb³⁺) Rare Earth Phosphors by Liquid/Liquid Extraction. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* Aug. p. 603-607. 2009

GUTOWSKI, T. G. Thermodynamics and recycling: a review. In: *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, San Francisco USA, May 19-20, p. 1-5. 2008.

JORDENS, A., CHENG, Y. P., WATERS, K. E. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals. *Minerals Engineering*, v. 41, p. 97–114, 2013.

HIRAJIMA, T., BISSOMBOLO, A., SASAKI, K., NAKAYAMA, K., HIRAI, H., TSUNEKAWA, M. Floatability of rare earth phosphors from waste fluorescent lamps. *International Journal of Mineral Processing*. v. 77, p. 187-198, 2005a

HIRAJIMA, T., SASAKI, K., BISSOMBOLO, A., HIRAI, H., HAMADA, M., TSUNEKAWA, M. Feasibility of an efficient recovery of rare earth-activated phosphors from waste fluorescent lamps through dense-medium centrifugation. *Separation and Purification Technology*. v. 44, p. 197-204. 2005b.

IBRAHIM, T. M. M., EL-HUSSAINI, O. M. Production of anhydrite–gypsum and recovery of rare earths as a by-product. *Hydrometallurgy*. v. 87, p. 11–17, 2007.

- FOOLMAUN, R. K., CAMILALL, D.S., MUNHURRUN, G. Overview of non-hazardous solid waste in the small island state of Mauritius. *Resources, Conservation and Recycling*. v.55, p. 966–972, 2011.
- IMERC (Interstate Mercury Education & Reduction Clearinghouse), IMERC *Fact Sheet: Mercury use in lighting*, Boston, Agosto, 2008.
- IUPAC International Union of Pure and Applied Chemistry, *Periodic Table of the Elements* < <https://goo.gl/4UQR3s> > Acesso em: 09 julho 2018.
- MREL, METALL RARE EARTH LIMITED, 2013. Disponível em: < www.metall.com.cn/re/facts.htm >. Acesso em: 09 julho 2018.
- MICHELIS, I. D., FERELLA, F., VARELLI, E. F., VEGLIÒ, F. Treatment of exhaust fluorescent lamps to recovery yttrium: experimental and process analyses. *Waste Management*, v. 31, p. 2559–2568, 2011.
- MORF, L. S., GLOOR, R. HAAG, O., HAUPT, M., SKUTAN, S., LORENZO, F. D., BÖNI, D. Precious metals and rare earth elements in municipal solid waste – Sources and fate in a Swiss incineration plant. *Waste Management*. v. 33, p. 634–644, 2013.
- NEMA, *Fluorescent and other mercury-containing lamps and the environment*, 2005. 14p.
- NIOSH. *Mercury. CAS 7439-97-6. Niosh Manual of Analytical Methods (NMAM)*, Fourth Edition, 8/15/94, 1994.
- NNOROM, I. C., OHAKWE, J., OSIBANJO, O. Survey of willingness of residents to participate in electronic waste recycling in Nigeria – A case study of mobile phone recycling. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, p. 1629–1637, 2009.
- OSHA. *Mercury vapor in workplace atmospheres*. OSHA Technical Center Salt Lake City, Utah T-ID140-FV-01-9106-M. 13p. Page last updated: 03/18/2010. Acesso em: 25 de maio 2013.
- PORTAL ELETRECISTA. *Como saber se um reator de lâmpada fluorescente queimou – dicas, passo a passo*. Curitiba, 2018 em: < <https://goo.gl/vYzge> >. Acesso em: 01 agosto 2018.
- RABAH, M. A. Recovery of aluminium, nickel-copper alloys and salts from spent fluorescent lamps. *Waste Management* v. 24, p. 119-126, 2004.
- RABAH, M. A. Recyclables recovery of europium and yttrium metals and some salts from spent fluorescent lamps. *Waste Management*. v. 28, p. 318–325, 2008.
- ROBINSON, B. H. E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment*. v. 408, p. 183–191, 2009.
- RONDA, C. R., JÜSTEL, T., NIKOL, H. Rare earth phosphors: fundamentals and applications. *Journal of Alloys and Compounds*. v.275–277, p. 669–676, 1998.
- SEIK, F. T. Recycling of Domestic Waste: Early Experiences in Singapore. *Habitat International*, v. 21, n. 3, p. 277–289, 1997.
- SERRA, O. A. Rare Earths – Brazil x China. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 22, n. 5, p. 811-812, 2011.

SHIMIZU, R., SAWADA, K., ENOKIDA, Y., YAMAMOTO, I. Supercritical fluid extraction of rare earth elements from luminescent material in waste fluorescent lamps. *Journal of Supercritical Fluids*, v. 33, p. 235–24, 2005.

TAKAHASHI, F., KIDA, A., SHIMAOKA, T. Statistical estimate of mercury removal efficiencies for air pollution control devices of municipal solid waste incinerators. *Science of the Total Environment*. v. 408, p. 5472–5477, 2010.

TECHATO, K.-A., WATTS, D. J., CHAIPRAPAT, S. Life cycle analysis of retrofitting with high energy efficiency air-conditioner and fluorescent lamp in existing buildings. *Energy Policy*, v. 37: p. 318-25, 2009.

TUNSU, C., RETEGAN, T., EKBERG, C. *Sustainable processes development for recycling of fluorescent phosphorous powders – rare earths and mercury separation: A literature report*. Department of Chemical and Biological Engineering Industrial Material Recycling and Nuclear Chemistry. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden, 2011.

USA EPA, *Environmental Protection Agency*. EPA 816-F-09-004, 2009.

USA EERE. *Rare Earth Phosphor Market*. APPENDIX 3C. 2009, 12p.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, *Critical Material Strategy*, 2011, 196p. Disponível em: < <https://goo.gl/xKbUjA>>. Acesso em: 09 julho 2018.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, *Utility Partnerships_ Fluorescent*, 2011.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY, *Rare Earth Elements—Critical Resources for High Technology*, Fact Sheet 087-02. Disponível em: < <http://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02/>>. Acesso em: 09 julho 2018.

VASSILEV, S. V., BRAEKMAN-DANHEUX, C. Characterization of refuse-derived char from municipal solid waste 2. Occurrence, abundance and source of trace elements. *Fuel Processing Technology*, v. 59, p. 135–161, 1999.

Van BEUKERING, P. J. H., van den BERGH J. C. J. M. Modelling and analysis of international recycling between developed and developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*. v. 46, p. 1-16, 2006.

WU, C-Y, BISWAS, P., FENDINGER, N. J. Model to assess heavy metal emission from municipal solid waste incineration. *Hazardous Waste & Hazardous Materials*, v. 11, n. 1, p. 71-92, 1994.

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS:
COPROCESSAMENTO NO BRASIL E NA ALEMANHA

REJANE AFONSO PRIES
KLAUS MARTIN FISHER
MARGARETE CASAGRANDE LASS ERBE



APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS: COPROCESSAMENTO NO BRASIL E NA ALEMANHA

O consumo de fontes não renováveis para utilização como combustíveis em indústrias corresponde ao maior percentual na matriz energética mundial, sendo o petróleo, o recurso não renovável com maior percentual de uso, 36,6%, mostrando a forte dependência de recursos não renováveis (PRIES et al, 2018).

Encontrar soluções viáveis para a substituição energética de combustíveis fósseis por fontes energéticas alternativas, que minimizem a dependência da sociedade moderna ao uso desse tipo de combustível, tem se tornado objeto de pesquisa no mundo todo (GOMES et al, 2012).

A substituição de combustíveis fósseis em fornos de clínquer em cimenteiras, como coque de petróleo e carvão mineral, por exemplo, quando feita por meio de resíduos em fornos de clínquer em cimenteiras é denominada de coprocessamento, uma tecnologia mundialmente difundida e praticada em diversos países (PARLIKAR, 2016; SILVA, BELATO, LOPES 2014).

O que faz o coprocessamento uma tecnologia distinta para aproveitamento energético é a capacidade de integração de dois processos concomitantemente, ou seja, enquanto produz clínquer, reutiliza os resíduos para fins de recuperação térmica ou de materiais. (PRIES, 2018, MARINGOLO, 2001).

O panorama mundial de uso de resíduos via coprocessamento, como substitutos de combustíveis fósseis têm crescido significativamente. Países da comunidade europeia possuem uma taxa média de substituição energética de combustíveis fósseis por alternativos, acima de 50%, alcançando até 98% em algumas plantas específicas. Entre os anos de 2010 a 2011, a Holanda substituiu 83% de seu combustível convencional por resíduos, e a Noruega 60%. Em 2016, a Alemanha chegou a valores superiores a 61% de substituição média anual nas cimenteiras, sendo que a cimenteira alemã SCHWENCK obteve em suas duas fábricas, 93% de substituição energética do combustível fóssil carvão mineral por resíduos (SCHWENCK, 2017; VDZ, 2018).

No Brasil o percentual de substituição energética via coprocessamento em cimenteiras em 2015, atingiu 9,6% (ABCP, 2018).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é comparar o coprocessamento no Brasil e na Alemanha, destacando aspectos tecnológicos, de legislação ambiental aplicada ao coprocessamento, tipologia de resíduos utilizados e vias de alimentação desses resíduos nos fornos para que se possa por fim, apresentar uma análise crítica dessa comparação.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O cimento é um aglomerante hidráulico oriundo de uma atividade integrada que envolve a exploração de matérias-primas, basicamente calcário e argila, seu beneficiamento, sua transformação química em clínquer (base da produção de cimento) em fornos rotativos e finalmente a moagem (VISED0, 2018).

Os fornos de clínquer utilizam diferentes combustíveis, sendo que os combustíveis fósseis mais utilizados são: óleo combustível, carvão mineral, coque de petróleo, moinha de carvão vegetal, gás natural e outros geralmente derivados de produtos de origem fóssil (CHATZIARAS et al, 2016; PRIES 2017).

No Brasil o combustível fóssil mais utilizado nas cimenteiras é o coque de petróleo, seguido do carvão. Já na Alemanha, é o carvão mineral (VISED0, 2018; VDZ, 2016).

Além dos combustíveis fósseis, o uso de combustíveis alternativos ganhou espaço na matriz energética dos combustíveis utilizados em ambos os países, Brasil e Alemanha. Combustíveis alternativos contabilizaram em torno de 61% da demanda total de energia de combustível da indústria alemã de cimento em 2016 e no Brasil, até 10% no mesmo ano (ABCP, 2018; VDZ, 2017).

Das diferentes tecnologias disponíveis para uma possível destinação de resíduos, o coprocessamento destaca-se por realizar ao mesmo tempo, integração de dois processos distintos, ou seja, enquanto produz clínquer, pode reutilizar os resíduos para fins de recuperação térmica ou de matéria-prima e pode contribuir para a redução de gases de efeito estufa (VISED0, 2018).

As características dos fornos de clínquer, como altas temperaturas, turbilhonamento pela rotação dos fornos, atmosfera alcalina, tempo de residência dos gases e dos materiais, complexo sistema de filtração dos gases e controle do processo, entre outros, tornam o coprocessamento de resíduos nesses fornos, possível e adequado ambientalmente (KIHARA, 2014).

2. PANORAMA DAS CIMENTEIRAS E O VOLUME COPROCESSADO

No Brasil, há atualmente 24 grupos cimenteiros com 38 fábricas licenciadas para o coprocessamento (ABCP, 2018).

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, o Brasil possui um parque industrial moderno na fabricação de cimento, com instalações eficientes no que

diz respeito ao consumo energético, e predomínio dos fornos via seca, que respondem por 99% da produção de cimento no país (VISED, 2018).

O Brasil coprocessou em 2016, 1,6 milhão de toneladas de resíduos, que representaram cerca de 10% de substituição térmica total dos combustíveis convencionais usados nos fornos. Considerando o potencial de todas as fábricas licenciadas para o coprocessamento de resíduos no Brasil, segundo avaliação da ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, a capacidade de coprocessamento em massa é de aproximadamente 2,5 milhões de t/ano (ABCP, 2017).

Na Alemanha, há atualmente 22 grupos com 55 plantas e 52 fornos licenciados para essa mesma atividade (VDZ, 2017).

As cimenteiras alemãs produzem cimento principalmente para o mercado interno e são consideradas eficientes em energia e automação, fazendo uso prioritário de combustíveis e matérias-primas alternativas (CEMBUREAU, 2016).

Os combustíveis tradicionais utilizados nas fábricas de cimento alemãs na década de 70 eram combustíveis de origem fóssil, principalmente carvão e coque de petróleo. Entretanto, o uso desses combustíveis nos fornos de cimento foi decaindo com o passar dos anos, cedendo espaço a outros tipos de combustíveis, os chamados combustíveis alternativos, biomassas e resíduos que contabilizam altos percentuais na matriz energética da indústria de cimento alemã, chegando nos últimos anos a um nível que ultrapassa o consumo dos combustíveis fósseis tradicionais (VDZ, 2016).

Essa inversão no consumo de combustíveis teve início em meados de 1965, em que a Alemanha se encontrava em uma situação de revisão quanto à disposição de seus resíduos, pois seus aterros estavam praticamente lotados, surgindo a necessidade de encontrar novas tecnologias de destinação. A partir disso, surgiram pesquisas de novas tecnologias para consumo de resíduos como fontes de energia térmica. Outro fator foi a união da Alemanha oriental e ocidental, no início da década de 1990, que alavancou um processo de modernização dos estados recém-formados. Em 2005, a Alemanha aboliu a deposição de aterros de matéria biodegradável não tratada e de resíduos sólidos municipais contendo materiais orgânicos, o que contribuiu para o melhor aproveitamento energético possível desses materiais, e o coprocessamento foi uma das tecnologias escolhidas para a recuperação energética desses resíduos (ENWB, 2017; VDZ, 2016).

Em 2016, a Alemanha coprocessou volumes acima de 3,6 milhões de toneladas atingindo um percentual médio acima de 61%, com fábricas como as da cimenteira SCHWENCK com percentuais acima de 93% de substituição de combustíveis fósseis por resíduos e previsão de atingir 80% em 2020 (SCHWENCK, 2017; ECOFIZ, CEMBUREAU, 2016).

O alto índice de substituição térmica, acima de 65%, tornou a Alemanha um país experiente no coprocessamento de resíduos, quando comparada aos demais países pertencentes à união europeia (ECOFYZ, 2016). Para se ter uma ideia comparativa, o desafio da união europeia de consumo de resíduos alternativos está ainda na proposta de atingir uma substituição de 60% dos combustíveis convencionais pelos alternativos nos fornos de clínquer, somente em 2050 (CEMBUREAU, 2015).

3. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL PARA O COPROCESSAMENTO – BRASIL E ALEMANHA

O Brasil e a Alemanha possuem legislações específicas para o uso da tecnologia de coprocessamento nas cimenteiras. O Quadro 1 apresenta as principais legislações que envolvem coprocessamento e destinação de resíduos no Brasil e o Quadro 2 apresenta as principais normas, legislações e diretrizes aplicadas na Alemanha relacionadas à resíduos e coprocessamento.

Quadro 1– Principais legislações no Brasil relacionadas à coprocessamento

Legislações Federais	CONAMA 264/1999	Diretrizes gerais sobre coprocessamento
	Lei 12.305/2010	Política nacional de resíduos sólidos
	IN 01 IBAMA/2013	Instrução normativa IBAMA caracterizando coprocessamento como forma de reciclagem
Legislações estaduais	Res. CEMA 76/2009	Resolução sobre coprocessamento no estado do Paraná
	COPAM 154/2010	Resolução sobre coprocessamento no estado de Minas Gerais

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1999; BRASIL, 2013; BRASIL, 2010; CEMA, 2009; COPAM, 2010.

Brasil

A Resolução CONAMA 264/99 foi a primeira legislação federal brasileira a determinar as principais diretrizes relacionadas ao coprocessamento e seu licenciamento, os monitoramentos das emissões atmosféricas geradas no processo de queima dos resíduos bem como a definir quais os resíduos que podem e não ser coprocessados,

conforme suas características de destruição e periculosidade (BRASIL, 1999). O Quadro 3 ilustra os resíduos que podem e não podem ser coprocessados no Brasil, conforme a legislação CONAMA 264/99.

Quadro 2 – Principais normas, legislações e diretrizes aplicadas na Alemanha relacionadas à resíduos e coprocessamento.

Normas/Diretrizes da comunidade europeia	Diretiva 75/442/CEE de 1975;	Relaciona os resíduos e suas destinações.
	Diretiva Europeia 1999/31/CE;	Restrições na disposição de materiais de origem orgânica.
	Diretiva 2000/76/EC	Emissões atmosféricas.
	EURITIS	Tratamento e incineração de resíduos.
Legislação/Normas federal/estadual	Abfallbeseitigungsg	Economia celular e resíduos.
	RAL GZ 724 - blendagem.	Norma do setor de blendagem de resíduos.
	Leitfaden - Estadual	Legislação estado de NRW, guia sobre destinação de resíduos.

Fonte: Adaptado de SCHWENCK 2017; VDZ, 2016.

Quadro 3 - Resíduos permitidos e não permitidos para coprocessamento.

Resíduos permitidos	Resíduos não permitidos
Borras oleosas	Radioativos
Borras de tinta	Explosivos
Solventes, óleos e graxas contaminados	Hospitalares
Sólidos diversos contaminados	Resíduos Domésticos brutos – Lixo comum
Resíduos da indústria química	Pesticidas
Lodos industriais	Organoclorados
Pneus	Resíduos com alto teor de cloro
Pneus	Ascarel

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1999.

A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 trata das diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Possui objetivos referente a hierarquia das tratativas no gerenciamento de Resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Em 2013, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) publicou a Instrução Normativa nº 1/2013, que considera o coprocessamento como um processo de reciclagem, pois os resíduos podem fornecer matérias-primas e energia no processo de fabricação do cimento (BRASIL, 2013).

Das legislações estaduais, alguns estados brasileiros, como Minas, Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul definiram instruções normativas, resoluções, portarias entre outros, visando regulamentar as taxas de emissões atmosféricas e alguns parâmetros operacionais adicionais ao CONAMA 264/1999.

Alemanha

O coprocessamento é avaliado na Alemanha, pelos órgãos ambientais e governo, como uma forma sustentável e essencial na redução das emissões atmosféricas, destacando entre outros benefícios, as reduções de gases de efeito estufa. (ECOFYZ, CEMBUREAU 2016).

No ano de 1975, foi criada a Diretiva 75/442/CEE, de 15 de julho de 1975, que relaciona os resíduos e suas destinações. O objetivo era o incentivo à recuperação dos resíduos, no intuito de preservar os recursos naturais não renováveis. A diretiva trata ainda da hierarquia de soluções para as destinações de resíduos: reuso e reciclagem (CEE, 1975).

A legislação da Diretiva Europeia 1999/31/CE (UNIÃO EUROPEIA, 1999), trata das restrições na disposição de materiais de origem orgânica em aterros sanitários (GOMES et al, 2012).

No ano 2.000, a união europeia aprovou a Diretiva 2000/76/EC, que limita as emissões referentes a queima em incineração de resíduos, dando início a legislação de controle do monitoramento de emissões atmosféricas em queima de resíduos. (ALEMANHA, 2000).

A legislação alemã *Kreislaufwirtschafts-und Abfallgesetz* (Economia Circular e Lei de Resíduos)" (ALEMANHA; 1994), estabelece regras que abrangem desde a geração do resíduo até a sua destinação final, bem como impõe regras para incineração e

coprocessamento. Tem por princípios a hierarquia de soluções, reforçando a busca da reciclagem como reaproveitamento ou produção de energia, recuperação e por fim, as disposições em aterros previamente autorizados e licenciados. Objetiva-se não causar prejuízos ao meio ambiente, interesse público, tanto à saúde humana como aos animais e plantas.

Em 2005, a Alemanha destacou-se como um dos primeiros países da união Europeia a impor a diretiva relativa ao aterro sanitário, que proibiu a partir deste ano o armazenamento de resíduos biodegradáveis em aterros (BILITEWSKI, 2014).

Além das legislações, o setor cimenteiro da comunidade europeia dispõe ainda de outras normas e sugestões de associações ou grupos que tratam de assuntos relacionados a cimento e resíduos. Destaca-se a *VDZ – Verein Deutscher Zementwerke*, (Associação Cimenteira Alemã), com estudos e publicações destinadas a atender esse mercado. Cita-se também a associação da comunidade europeia *EURITS - European Union for Responsible Incineration and Treatment of Special Waste*, (União Europeia para Tratamento e Incineração Responsável de Resíduos Especiais), que publicou limites para resíduos utilizados no coprocessamento (PRIES, 2018).

Outra iniciativa do setor privado, referente ao coprocessamento, é do Instituto Alemão de garantia de qualidade dos resíduos, o RAL, que estabeleceu regras no recebimento de resíduos com foco no atendimento da qualidade dos resíduos blendados, ou misturados, que posteriormente serão entregues nas cimenteiras. São regras criadas para as empresas especializadas em receber resíduos sem processamento, diretamente da origem, e que adequam os mesmos por meio de sistemas e processos definidos para atender as necessidades das fábricas consumidoras. Dos critérios estabelecidos pela RAL, destaca-se a RAL-GZ724, que estabelece limites para alguns elementos químicos como por exemplo metais pesados, entretanto todos com foco no resíduo blendado. Determina também procedimentos para realizar os processos de blendagem, concentrações e parâmetros para produção do combustível alternativo (ROTTER et al, 2011; LEITFADEN, 2005).

O estado alemão de Nordrhein-Westfalen (NRW) desenvolveu um documento, chamado de *Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen* (Guia para a recuperação de energia de resíduos em cimento, cal e usinas de energia na Renânia do Norte Westfalen) listando os parâmetros e limites máximos permitidos, especialmente para os metais pesados, estabelecendo critérios para o recebimento de materiais para serem coprocessados em fornos de clínquer. Esses limites são utilizados como base para emissão de licenças ambientais (PRIES, 2018; NRW UMWELT, 2005).

O Quadro 4, compara as principais legislações e normas alemãs com as resoluções brasileiras de Minas Gerais e do Paraná referente a parâmetros e limites de recebimento

de resíduos para o coprocessamento. Os estados do Paraná e Minas Gerais foram selecionados, pois são os estados com parâmetros e limites mais restritivos no Brasil.

Observa-se que as legislações e normas alemãs são mais restritivas que as do Brasil para o coprocessamento de resíduos. O rigor é percebido nos limites para os parâmetros de metais pesados quando comparados aos limites para os mesmos parâmetros na legislação brasileira, bem como nos limites para halogênios.

4. TECNOLOGIAS NOS FORNOS DE CIMENTO RELACIONADAS AO COPROCESSAMENTO

Para atender a demanda de coprocessamento, novas tecnologias surgiram para alavancar o consumo de resíduos nos fornos. Destacam-se as alterações no maçarico principal, inserção de um sistema chamado de *by pass* para expurgo de substâncias indesejadas, criação de diferentes sistemas de alimentação de resíduos em etapas do processo de clínquerização, alterações no projeto do sistema forno, definições do tipo de forno a receber coprocessamento de resíduos, entre outros.

Os maçaricos, responsáveis pelo recebimento do combustível e formação da chama no interior do forno, podem ser adaptados para o uso de diversos tipos de combustíveis. Antigamente, os maçaricos eram construídos para alimentar somente os combustíveis tradicionais, porém com a advento do coprocessamento e de resíduos líquidos e sólidos com granulometrias e densidades heterogêneas, receberam modificações de projeto de modo a atender a mistura atual de combustíveis fósseis, coque e carvão por exemplo, com combustíveis derivados de resíduos (HASANBEIJ, 2013).

Os maçaricos devem atender as especificações de queima de resíduos de diferentes características físicas, sólidos, líquidos e diferentes granulometrias e podem ser dimensionados para operação multicomcombustível, utilizando ao mesmo tempo, combustíveis tradicionais com resíduos (COMBUSTECH, 2018).

Na Alemanha, a mudança no projeto do maçarico principal foi realizada, pois representa melhora nos ganhos em substituição térmica. As cimenteiras dos grupos Schwenck e Heidelberg fizeram alterações em seus maçaricos para o coprocessamento de resíduos. (SCHWENCK, 2017; MATHIEU, 2009).

By Pass - Fábricas que fazem uso do coprocessamento, em quantidades significativas de substituição térmica, precisam de sistemas de expurga de elementos químicos danosos ao processo ou ao meio ambiente (SCHWENCK, 2017).

O *by pass* nos fornos é um sistema que extrai uma parte dos gases de exaustão do forno, refrigerando-os logo em seguida para a retirada do pó. A retirada dos gases é feita por um duto, localizado em um dos lados do forno, de forma que nesta posição os gases

Quadro 4 – Comparativo entre as normas e legislação alemã e brasileira para recebimento de resíduos.

Parâmetro	Unidade	CEMA 76/2009	COPAM 154/2010	RAL GZ724	Leitfaden	EURITIS
Poder calorífico	kcal/kg	> 1.500	> 2.000	-	-	-
Hg	mg/kg	≤10	≤ 10	0,6	1,2	-
Cd	mg/kg	-	-	4	9	2
Tl	mg/kg	-	-	1	2	2
Soma Hg+Cd+Tl	mg/kg	200	100	-	-	-
As	mg/kg	-	-	5	13	-
Co	mg/kg	-	-	6	12	-
Ni	mg/kg	-	-	80	100	70
Se	mg/kg	100	-	-	-	-
Soma As+ Co+Ni+Se+Te	mg/kg	5000	1.500	-	-	-
Soma As+Se+Te+Cd+ Sb	mg/kg	-	-	-	-	10
Soma V+Cr+Co+Ni+C u+ Pb+Mn+Sn	mg/kg	-	-	-	-	200
Sb	mg/kg	-	-	50	120	-
V	mg/kg	-	-	10	25	-
Sn	mg/kg	-	-	30	70	-
Cr	mg/kg	5000	-	125	250	-
Cu	mg/kg	-	-	350	700	-
Mn	mg/kg	-	-	80	500	-
Be	mg/kg	-	-	-	-	1
Pb	mg/kg	< 5.000	< 3.000	-	-	-
Soma Sb+Cr+Sn+Pb+ V	mg/kg	-	5.800	-	-	-
Cl	%	-	-	-	-	0,5
F	%	-	-	-	-	0,1
S	%	-	-	-	-	0,4
Br	%	-	-	-	-	1

Fonte: Adaptado de CEMA76, 2009; COPAM 154, 2010; RAL, 2012; LEITFADEN, 2005; EURITS, 2013.

do forno possuem menor concentração de poeira e alta concentração gasosa de compostos químicos como o cloro por exemplo (MUT et al, 2015).

Elementos químicos como o cloro, sulfetos e álcalis (sódio e potássio), se não estiverem em quantidades adequadas para que possam reagir entre si e neutralizarem-se, formarão distúrbios no processo pelo excesso de um ou mais deles que se volatilizam, devido às altas temperaturas na ponta da chama, e ao recircularem pelo forno, encontram temperaturas mais frias principalmente nos ciclones e do início do forno até a zona de queima, voltando a se condensar reagindo com a farinha alimentada. Sendo assim, formam como produto dessas reações, as chamadas incrustações ou colagens. As colagens podem trazer danos como redução da alimentação no forno devido menor diâmetro disponível de passagem da farinha e até paradas do sistema para desentupimento causando prejuízos econômicos a fábrica (PRIES, 2018; VISEDO, 2018; AFONSO, 2006).

Metais pesados voláteis podem ser danosos ao processo de coprocessamento em relação aos impactos ambientais negativos, pois são fontes de poluição atmosférica como mercúrio, cádmio, tálio e chumbo entre outros. Os limites de emissão de mercúrio, por exemplo, são bastante restritivos, no Brasil para fábricas que coprocessam é de 0,05 mg/Nm³, segundo CONAMA 264 de 1999 e CEMA 76 de 2009. O mercúrio volatiliza a baixas temperaturas, entre 120 e 150 °C e pode sair na chaminé em concentrações acima deste limite estabelecido. Assim como outros metais voláteis como tálio, cádmio e chumbo por exemplo. Embora parte destes metais possa ser incorporado a estrutura do clínquer, parte volatiliza e sai pela chaminé (BRASIL, 1999; CEMA, 2009; AFONSO, 2006).

Para diminuir os efeitos desses compostos, os gases do forno contendo Cl e o pó do forno depois de retirados via *by pass*, são resfriados de forma a condensar os compostos químicos e fazer sua separação do gás. Esta separação ocorre em um precipitador eletrostático ou em um filtro de mangas, conforme equipamento já existente na planta de cimento. As taxas de *by pass* típicas são de até 15% para o cloro (MUT et al, 2015)

Os pontos negativos referentes ao *by pass*, estão relacionados aos custos de investimento para sua instalação, bem como o aumento das perdas térmicas no forno, ocasionando aumento no consumo térmico, na casa de 6-12 MJ/tonelada de clínquer produzido. (MUT et al, 2015). Como pontos positivos, essa retirada de gases possibilita um processo mais estável durante o coprocessamento, com maior consumo de resíduos e consequente maior substituição térmica (SCHWENCK, 2017).

O sistema de *by pass*, é considerado moderno, mas pode ser economicamente ainda inviável para parte dos grupos cimenteiros. É bastante utilizado em processos com um consumo elevado de resíduos oriundos de sólidos urbanos, cuja quantidade de cloro

é elevada, na ordem de 0,7%. Nenhum forno de clínquer no Brasil possui o sistema by pass instalado atualmente (VISED, 2018; CSI, 2014; TISSOT, 2016).

Existem atualmente dois tipos principais de processos para a produção de clínquer: processo via úmida e processo via seca. O processo via úmida necessita de um consumo adicional de energia, pois se adiciona uma etapa a mais no processo, que é a evaporação da água, além disso os fornos são mais longos pois necessitam de um tempo de produção maior para a etapa adicional. Já os fornos de via seca não usam água na mistura de suas matérias-primas e, portanto, consomem menos energia sendo então considerados mais modernos que os de via úmida (RAMOS, 2015 e PAULA, 2009).

Na Alemanha, 93,8% dos fornos que produzem cimento operam em via seca (VDZ, 2011; JANZEN, 2013) e no Brasil, esse índice é ainda maior, com 99% dos fornos convertidos ou operando em via seca. (VISED, 2018; ABCP, 2017). A média mundial de fornos operando em via seca é de 87% (CSI, 2014).

O Brasil conta com um parque industrial cimenteiro novo, pois parte das plantas tem menos de 15 anos e foram construídas com tecnologia moderna e desta forma, possui processos e equipamentos novos. (VISED, 2018).

5. PONTOS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS NOS FORNOS DE CLÍNQUER

Segundo sua tipologia e características os resíduos podem ser considerados pastosos, líquidos e sólidos. Resíduos como pneus, sólidos triturados, CDR, lodos de esgoto até 23% de umidade são considerados resíduos sólidos. Óleos, solventes, lodos úmidos são considerados líquidos ou pastosos. (SCHWENCK, 2017; CHATZIARAS et al, 2016; KARSTENSEN 2006).

Os pontos de alimentação no forno dependem basicamente das características do resíduo recebido. Características físicas como umidade, granulometria e viscosidade são exemplos importantes na decisão do ponto em que ele será alimentado. (SCHWENCK, 2017).

Conforme (SCHWENCK 2017) e TISSOT (2016) os possíveis pontos de alimentação para os respectivos resíduos de substituição energética de combustíveis fósseis são apresentados no Quadro 5. Percebe-se que os pontos de alimentação de resíduos no Brasil e Alemanha são os mesmos, somente não há alimentação de resíduos via moinho de combustível.

6. EQUIPAMENTOS DE ALIMENTAÇÃO DE RESÍDUOS NOS FORNOS DE CLÍNQUER

Um dos grandes desafios na alimentação de resíduos está no fato de não serem homogêneos e, portanto, os equipamentos utilizados para alimentá-los devem estar adequados a essas particularidades (JENNEWEIN, 2014).

Quadro 5 – Pontos de alimentação no forno e aplicação comparativa entre Brasil e Alemanha

Ponto de alimentação	Tipo de resíduo alimentado	Aplicação Brasil	Aplicação Alemanha
Caixa de fumaça	Líquidos, pastosos, pneus inteiros, resíduos sólidos triturados	Sim	Sim
Maçarico principal	Sólidos triturados com granulometria menor que 25 mm e líquidos	Sim	Sim
Pré-Calcinador	Líquidos, pastosos e sólidos triturados, pneus picados triturados com granulometrias entre 50 a 150 mm.	Sim	Sim
Moinho de combustível	Resíduos que necessitem de moagem antes de sua alimentação, como por exemplo lodos, terras contaminadas com óleo, Combustível sólido de substituição CSS sem contaminações de plásticos ou outros.	Sim	Não

Fonte: Adaptado de SCHWENCK, 2017; TISSOT, 2016.

Os equipamentos de alimentação de resíduos devem ser flexíveis, pois os resíduos podem não ser homogêneos com composições químicas e físicas diferentes. Materiais extremamente leves como o CDR e resíduos trituráveis de plástico e papel por exemplo, e muito pesados como lodo de esgoto, farinha animal, pneus picados, entre outros representam a variedade de resíduos disponíveis para coprocessamento como substitutos de energia e portanto, representam a necessidade da flexibilidade dos equipamentos para alimentá-los no sistema forno e torre de ciclones. (PRIES, 2018; FLSMIDTH, 2017).

Resíduos líquidos e pastosos podem ser dosados por sistemas de bombeamento. Bombas de concreto são as utilizadas nas cimenteiras da Alemanha e do Brasil para dosar resíduos líquidos e pastosos no pré-calcinador, caixa de fumaça e maçarico principal (SCHWENCK, 2017; DYNAMIS, 2017).

Para alimentar resíduos sólidos utilizam-se basicamente dois tipos de alimentação, uma no sistema forno e torre e outra no maçarico principal. Os sistemas de alimentação de correias com válvulas abrem e fecham, correias transportadoras com dosadores helicoidais são utilizadas para alimentar resíduos no sistema torre e forno. Para alimentação de resíduos no maçarico principal, a dosagem pode ser feita junto com o ar que alimenta e caracteriza a formação da chama. (PRIES, 2018; SCHWENCK, 2017).

7. TIPOLOGIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS COPROCESSADOS

A utilização de resíduos como combustível alternativo tem se mostrado uma alternativa viável para o reaproveitamento térmico da energia contida nesses materiais como também uma opção de redução dos impactos ambientais na disposição final. Materiais como óleos residuais, plásticos, papel, pneus, borras de tinta, lodos de esgoto, combustíveis derivados de resíduos sólidos urbanos (CDR a partir de RSU), entre outros são exemplos de tipologia de resíduos que podem ser utilizados nas cimenteiras (BAIDYAA et al,2016).

Resíduos utilizados como substitutos energéticos, são aqueles cujo poder calorífico pode ser utilizado para substituir o combustível convencional utilizado no forno (KIHARA, 2014).

A Figura 1 ilustra o poder calorífico de alguns resíduos comparados aos principais combustíveis utilizados no Brasil, coque, e na Alemanha, carvão.

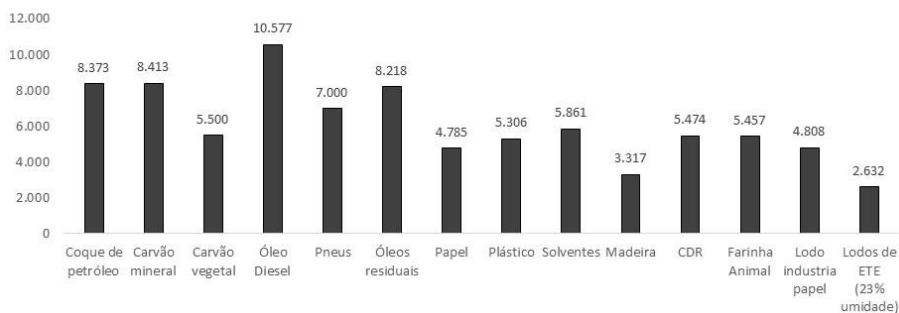


Figura 1 - Comparativo do poder calorífico entre combustíveis e resíduos.

Fonte: Adaptado de JANZEN 2013; SCHWENK, 2017

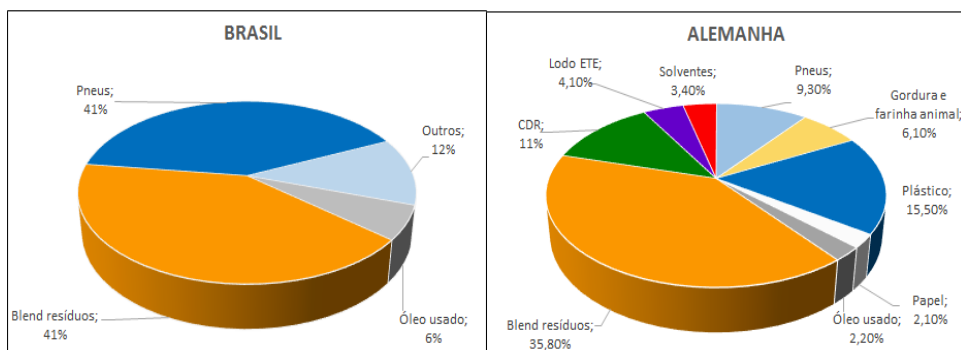
Observa-se que pneus e óleos residuais são os resíduos com poder calorífico mais próximo aos combustíveis convencionais.

Considerando a tipologia de resíduos coprocessados no Brasil e na Alemanha, os gráficos na Figura 2 ilustram os diferentes resíduos que compõe a matriz energética de

substituição de combustível principal fóssil nos fornos de clínquer do Brasil e da Alemanha.

A matriz energética de resíduos substituintes de coque brasileira, está concentrada em pneus e *blends* (misturas) de resíduos perigosos, basicamente maior percentual de resíduo sólidos. Pneus representaram o resíduo mais consumido no ano de 2016 certamente pelo bom poder calorífico que possuem, muito próximo ao coque e ao carvão.

Figura 2 - Tipologia de resíduos coprocessados no Brasil e na Alemanha em 2016.



Fonte: Adaptado de ABCP, 2017; VDZ, 2017

Resíduos blendados são outro tipo de resíduo que tem sido utilizado nos fornos de clínquer e representam misturas de diversos tipos de resíduos (papel, plástico, estopas, entre outros) triturados. As misturas são feitas por empresas especializadas que recebem os resíduos gerados nas indústrias, analisam os mesmos quimicamente e fazem misturas adequadas para alimentação nos fornos (PRIES, 2017).

Já a matriz alemã, possui um maior número de resíduos substituintes de energia nos fornos de cimento, com percentuais bastante distribuídos. Percebe-se grande variedade de resíduos coprocessados, com destaque aos *blends* de resíduos industriais e ao CDR (combustível derivado de resíduos sólidos) com um consumo bem distribuído, mostrando baixa dependência de um único tipo de material.

Percentualmente, o consumo de resíduos sólidos, dentro da matriz energética de cada país é de praticamente 80% de resíduos, os 20% restantes podem ser considerados líquidos. Resíduos como pneus e borras oleosas possuem poder calorífico mais próximo do coque. Mas outros resíduos podem também contribuir na substituição térmica, como o CDR.

8. COMPARAÇÃO ENTRE O BRASIL E A ALEMANHA

A Alemanha está à frente do Brasil quando se compara a substituição energética de combustível fóssil, por resíduos via coprocessamento, com diferenças percentuais elevadas. Essas diferenças podem ser explicadas por alguns fatores tais como legislação e normas, diferenças tecnológicas e tipologia de resíduos.

O Brasil mostra-se a frente da Alemanha em relação ao parque industrial, com fornos e torres de ciclone modernos, com fornos operando quase que 100% em via seca, mostrando menor consumo térmico.

Referente a legislação e normas aplicáveis ao coprocessamento, tanto a Alemanha como o Brasil, possuem legislações próprias para este fim, nos âmbitos federal e estadual, com diferenças para limites e parâmetros no aceite de resíduos para o coprocessamento. A Alemanha dispõe ainda de normas definidas por setores de interesse, como a EURITS, da comunidade europeia, e RAL com a RAL- GZ 724 ligada ao setor de blendagem de resíduos. O Brasil não possui regras nem normas estabelecidas por entidades ligadas ao setor cimenteiro ou blendagem de resíduos, o que por um lado deveria facilitar o coprocessamento e mostrar números de substituição mais elevados no Brasil, ocorre o inverso.

Outro fator importante é que na Alemanha, legislações e normas são mais restritivas que no Brasil. Os limites para os parâmetros de metais pesados para que os resíduos sejam aceitos para coprocessamento, quando comparados aos limites para os mesmos parâmetros na legislação brasileira, mostram-se mais rigorosos. Para o mercúrio, o limite é de no máximo 10 mg.kg^{-1} nas legislações brasileiras, e tanto na legislação alemã Leitfaden quanto na norma RAL, esse limite é praticamente 10 vezes menor mostrando um controle mais rígido para este metal. Isso fica ainda mais evidente, se consideramos a mesma regra das legislações Resolução CEMA 76/09 e DN COPAM 154/2010 para a soma desses três metais voláteis, que é de 200 e 100 mg.kg^{-1} respectivamente. Para a legislação RAL, o limite máximo dos três metais somados é de $5,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ e para a legislação Leitfaden é de $12,2 \text{ mg.kg}^{-1}$, limites significativamente menores. Para o cromo, no Brasil a legislação paranaense prevê um limite máximo de até 5.000 mg/kg , sendo que segundo a legislação Leitfaden o limite é de 250 mg.kg^{-1} e para a RAL esse limite é ainda menor, 125 mg.kg^{-1} . Os limites mais restritivos aplicados na Alemanha, poderiam apontar para reduções nos percentuais de substituição pela tecnologia de coprocessamento, mas percebe-se que, mesmo sendo mais restritiva a Alemanha consegue coprocessar quantidades maiores que o Brasil, provando que legislação mais rigorosa não impede o coprocessamento de resíduos.

Analisando o parâmetro poder calorífico, ambas as legislações brasileiras impõem limites mínimos para o aceite do resíduo para coprocessamento. Já nas regras alemãs,

não há limites para este parâmetro. Essa referência mínima de poder calorífico, pode ser um dos fatores limitantes no coprocessamento nos estados com legislações específicas no Brasil, como Paraná e Minas Gerais que impõe regras mínimas de aceite.

Referente a políticas públicas, as legislações brasileiras e alemãs, a lei brasileira 12.305/10 (PNRS) e a lei alemã de Economia de Ciclo Integral e dos Resíduos” – *Kreislaufwirtschafts-und Abfallgesetz* de 1994, possuem princípios semelhantes, orientando sobre a hierarquia de soluções para os resíduos, desde reciclagem, reutilização e por fim disposições em aterros nos casos de esgotamento das tecnologias possíveis, incluindo o coprocessamento como forma de recuperação de energia. Entretanto, mesmo com legislações semelhantes de soluções e destinos para resíduos, a Alemanha mostra números melhores que o Brasil, o que pode em parte ser explicado pela maturidade das leis alemãs, datadas da década de 1970 enquanto que no Brasil a lei semelhante é de 2010. Vale ressaltar também, que a partir de 1965, com o esgotamento dos aterros disponíveis, a Alemanha procurou desenvolver tecnologias de reaproveitamento de seus resíduos, e em 2005 proibiu a disposição em aterros de diversos tipos de resíduos, seguindo a diretiva europeia, o que provavelmente foi um dos fatores que alavancou o aumento dos percentuais de substituição térmica.

Em relação a dosagem de resíduos no forno e os pontos de alimentação, tanto Brasil quanto Alemanha possuem semelhanças, o que demonstra que neste aspecto ambos os países estão alinhados.

A principal diferença tecnológica encontrada neste estudo, que pode ser considerada um entrave ao desenvolvimento do coprocessamento no Brasil é o sistema by pass nos fornos, que funciona como um expurgo de elementos voláteis que podem ser danosos ao processo, como cloro e mercúrio. As fábricas alemãs de alto desempenho de substituição térmica, como a fábrica da cimenteira SCHWENCK, possuem o sistema instalado em seus fornos e alcançam percentuais de substituição de 93%. No Brasil, não há fábricas que coprocessam com este sistema instalado, limitando certamente o uso de resíduos que podem conter cloro em percentuais na faixa de 0,7%, considerados danosos ao processo de produção de cimento.

A tipologia de resíduos consumida foi o principal fator encontrado, dos fatores estudados, que representa uma diferença significativa nos percentuais de substituição energética entre Brasil e Alemanha. A Alemanha possui uma matriz mais abrangente, apontando consumos de resíduos como CDR e lodos de ETE, resíduos que no Brasil ainda não são consumidos em escala significativa. A matriz energética brasileira de substituição de combustíveis fósseis por resíduos, via coprocessamento, está focada no consumo de pneus e *blends* de resíduos perigosos que correspondem a 80% do total de resíduos consumidos no país.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Alemanha possui percentuais energéticos maiores que o Brasil na substituição de combustíveis fósseis por resíduos, via tecnologia de coprocessamento.

Apesar do Brasil possuir um parque industrial cimenteiro mais jovem que o alemão e também uma legislação menos restritiva, as principais diferenças encontradas que mostram a evolução alemã nos percentuais de substituição energética são a melhor tipologia dos resíduos coprocessados e o sistema de *by pass* instalado nos fornos de clínquer.

Vale ressaltar que o potencial de crescimento do coprocessamento no Brasil é significativo, apesar de que há ainda um caminho a ser percorrido para alcançar substituições próximas as da Alemanha. Será necessário primeiramente receber uma maior variabilidade de resíduos, principalmente o CDR, disponível em todas as cidades por ser um resíduo de origem urbana/doméstica e também lodos de esgoto. Além disso, a instalação de projetos de *by pass* nos fornos deverá ser estudada pelas cimenteiras brasileiras para alavancar a substituição térmica sem prejudicar os processos de produção.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland. *Estatísticas*. São Paulo, 2016 Disponível em: <http://coprocessamento.org.br/estatisticas>

ABCP(b) Associação Brasileira de Cimento Portland. *Coprocessamento aproveita diferentes tipos de resíduos*. São Paulo, 2018 Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/artigos>.

AFONSO, R. *Coprocessamento de resíduos da indústria do Petróleo em fornos de cimento*. (Especialização em Engenharia Ambiental), UFPR. Curitiba, 2006.

BAIDYAA, R; et e al. *Co-processing of industrial waste in cement kiln – a robust system for material and energy recovery*. The Tenth International Conference on Waste Management and Technology (ICWMT). Mumbai, 2016.

BILITEWSKI, Berndt. *Mechanical-biological Treatment of Waste in Germany*. Management and Environment Waste Management and Environment-Integrating Management. INTECUS, Germany, 2014.

BRASIL. *Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei Federal nº 12.305*, Brasília, 2 de agosto de 2010.

CE - Comunidade Européia. *Directiva 1999/31/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de abril de 1999, relativa à disposição de resíduos em aterros* - Disponível em <http://eur-lex.europa.eu>

CEMA. Conselho Estadual Do Meio Ambiente. *Estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético*. Resolução 76. Curitiba, 2009.

CEMBUREAU The European Cement Association. *Activity Report*. 2017. Brussels 2017. Disponível em: <http://www.cembureau.eu> . Acesso em janeiro, 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - *Procedimento para utilização de resíduos em fornos de produção de clínquer- P4. 263/03* São Paulo dezembro de 2003.

CE - Comunidade Européia, *Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, relativa a resíduos e que revoga certas diretivas*. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu>

CHATZIARAS, N. et al. Use of waste derived fuels in cement industry: a review", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 27 Iss 2 pp. 178 – 193. Nova York, 2016.

COMBUSTECH. Disponível em <http://www.combustech.com.br/pt-br/produtos/queimadores-fornos-rotativos>. São Paulo, 2018. Acesso em fevereiro, 2018.

CONAMA. Conselho Nacional Do Meio Ambiente, *Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos, Resolução 264*, 1999.

CONSEMA. Conselho Estadual Do Meio Ambiente. *Licenciamento ambiental para coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. Resolução 002*. Porto Alegre 2010

CSI, CEMENTE SUSTAINABILITY INICIATIVE. *Guidelines for Co-processing Fuels and Raw Materials in Cement Manufacturing*. Disponível em: <<http://www.wbcscement.org>.> Acesso em janeiro, 2018.

COPAM, Conselho Estadual De Política Ambiental Conselho Estadual De Política Ambiental. *Deliberação Normativa 154/2010*. Belo Horizonte. Agosto de 2010. Disponível em: www.siam.mg.gov.br.

ECOFFIZ, CEMBUREAU. *Market opportunities for use of alternative fuels in cement plants across the EU*. Germany, 2016. Relatório técnico.

ENWB. *Co Incineration in EnWb - Energie Baden- Wurttemberg* Trabalho apresentado na 9º Curso de Extensão Internacional na Alemanha em meio ambiente. Universitat Stuttgart, Stuttgart, 2017.

EURITIS – *European Union for Responsible Incineration and Treatment of Special Waste*. - Disponível em: <http://www.incineration.info/home>

FLSMIDTH. *Production cost saving by using coarse alternative fuels*. Augsburg, German, 2017.

GOMES, F.C.S.P et al. Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: estado da arte e análise crítica das principais tecnologias. *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2012, vol.17, n.3, pp.295-304.

JANZEN, Konrad. *Avaliar a possibilidade da destinação de resíduos industriais gerados no Brasil pelo modelo de coprocessamento utilizado em fornos de clínquerização na Alemanha*. 127 f. Dissertação (Mestrado em meio ambiente urbano e industrial) – Setor de engenharia química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

JENNEWEIN, Thomas. *Loosening the link to fossil fuels cuts costs, provides new alternative*. *FLSmidth. ELSEVIER, Germany*, volume 542, Part B, 15 January 2016, Pages 1136-1143.

KARSTENSEN, K.H *Formação e Emissão de POPs pela Indústria de Cimento*. SINTEF – Fundação para a Pesquisa Científica e Industrial da Noruega para World Business Council for Sustainable Development - Cement Sustainability Initiative, Rima Editora, São Paulo, Janeiro de 2006.

KIHARA, Y. *A indústria do cimento e o desenvolvimento do Brasil*. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em dezembro, 2016.

BRASIL, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, *Instrução normativa nº 1*, Brasília, 2013.

MATHIEU B. Co-processing of biomass in Heidelberg cement. In: Workshop EUBIONET III. *Anais...*Brussels, 2009.

MUT, M. D. M. et al. *Review: Circulation of Inorganic Elements in Combustion of Alternative Fuels in Cement Plants*. *Energy and Fuels*, 29(7), 4076-4099. DOI: 10.1021/ef502633u. Dinamarca, 2015.

NRW UMWELT- *Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen -Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in NordrheinWestfalen - 2. Auflage* Düsseldorf, September 2005

PRIES, R. *Riscos químicos no processo de blendagem de resíduo industriais para coprocessamento*. Monografia de especialização em segurança do trabalho). UTFPR, Curitiba, 2017.

PRIES, R. et al. Panorama dos recursos energéticos não renováveis no Brasil e no Mundo. 3º simpósio MAUI qualidade do ar: gestão e monitoramento. *Anais...*, Curitiba, 2018.

RAL. *Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.* - RAL-GZ724 - GütezeichenGüte- und Prüfbestimmungen für Sekundärbrennstoffe, Bundesgütegemeinschaft für Sekundärbrennstoffe e.V., Sankt Augustin Juni 2001.

ROTTER V.S et al. New techniques for the characterization of refuse-derived fuels and solid recovered fuels. *Waste Management & Research*. 29(2) 229–236. Berlim, 2011.

SCHWENCK. *Coprocessing im Allmendingen SCHWENCK zementindustrie*. Trabalho apresentado no 9º Curso de Extensão Internacional na Alemanha em meio ambiente. Universitat Stuttgart, Allmendingen, 2017.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. *História do Cimento no Brasil*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em : < <http://snic.org.br/> >. Acesso em: 12 de março de 2018.

SILVA, R. J., M. N. BELATO e A. O. LOPES. Coprocessamento de pneus usados e resíduos de rerrefino de óleos lubrificantes usados em fornos de clínquer. COBEQ, congresso brasileiro de engenharia química. *Anais...* Florianópolis, 2014.

TISSOT, M. Soluções para gerenciamento, valorização e destino final de resíduos- coprocessamento em fornos de cimento. In: II Simpósio MAUI - Brasil-Alemanha – Meio Ambiente Urbano e Industrial, com o tema “Resíduos Sólidos: minimização e valoração. *Anais...*Curitiba, 2016.

VDZ - Verein Deutscher Zementwerke e. V. (Hrsg.) - *Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2016*, Dusseldorf. Agosto de 2012. Disponível em: <http://www.vdzonline.de>

VISEDO, Gonzalo. ROADMAP ABCP e SNIC. In: SEMINÁRIO DE COPROCESSAMENTO DE RESÍDUOS NA INDUSTRIA DE CIMENTO. *Anais*..Curitiba, 2018.

CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL
NO BRASIL E NA ALEMANHA

PAULO ANTONIO DO VALE JUNIOR
DANIELA NEUFFER
REGINA MARIA MATOS JORGE



CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL NO BRASIL E NA ALEMANHA

O ser humano é totalmente dependente da água, necessitando deste recurso para uma infinidade de usos, como alimentação, higiene, entre outros mais nobres e também o afastamento e a diluição dos esgotos, tanto domésticos como industriais. O crescimento populacional desordenado e não planejado em sinergia com o crescente desenvolvimento das atividades humanas, coloca os recursos hídricos em situações críticas, sofrendo pressões imensuráveis. Com a demanda pelo recurso aumentando expressivamente e a disponibilidade hídrica em condição de uso para abastecimento, tanto em relação à qualidade como em quantidade, não acompanhando este desenvolvimento elevado.

A água é um elemento vital à vida humana, de acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos, conhecida como Lei das Águas, no seu art. 1º "...água é um bem de domínio público, limitado e a gestão, descentralizada, deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas...". A manutenção da qualidade e da quantidade dos recursos hídricos é importante para o sucesso da vida humana. Deve ser prioridade o compromisso de manter prioritariamente o abastecimento humano em caso de falta de água. O constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, mais de 60% do peso de um ser humano é constituído por água em alguns animais aquáticos esta porcentagem pode chegar a 98% (VON SPERLING, 2005).

Garantir a qualidade da água para o consumo humano está intimamente relacionado com a proteção das fontes de águas brutas, com a gestão das causas de contaminações traduzindo-se na disponibilidade de um recurso com menor contaminação, o que além de garantir uma maior segurança na qualidade da água distribuída aos consumidores, implica em um menor esforço no tratamento (VIEIRA et al., 2005).

As notícias demonstram a escassez dos recursos hídricos ocasionando uma situação de calamidade pública, como exemplos mais emblemáticos a situação de São Paulo, com o Sistema de Abastecimento Cantareira, o qual chegou a captar o seu volume morto para poder suprir a demanda. E a Cidade do Cabo com o seu Dia Zero. Indo em dissonância com os conhecimentos anteriormente difundidos e preconizados de que a água era um recurso natural ilimitado, possuindo uma grande capacidade de diluição de efluentes.

A ação antrópica e fenômenos naturais influenciam diretamente na qualidade da água, que é determinada em função das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2005). Com a forma de uso, ocupação e manejo da

bacia hidrográfica refletindo diretamente na qualidade da água (MERTEN, MINELLA, 2002; ANDREOLI et al., 2011).

Muitos mananciais utilizados para o abastecimento público têm apresentado um crescente e progressivo grau de deterioração das suas águas, tanto qualitativa quanto quantitativamente. De acordo com ANDREOLI, LARA, 2003 e VIEIRA et al., 2005, a diminuição da qualidade da água bruta tem como algumas consequências, o aumento do consumo de produtos químicos utilizados nos processos de tratamento e um maior tempo de detenção hidráulica e de manutenção nos sistemas de filtragem. Tornando o tratamento mais dispendioso, aumentando os custos de operação e o consumo de recursos, podendo acarretar em um incremento na formação de subprodutos e na produção de resíduos.

A utilização da água para um determinado propósito não deve prejudicar os diversos usos possíveis, entre os quais figuram aspectos culturais, atividades recreativas e a preservação da diversidade biológica. Surgindo assim, a necessidade de monitorar os cursos hídricos a fim de disponibilizar informações que permitam propor medidas adequadas de manejo para manter os ambientes aquáticos com qualidade ecológica. A avaliação da qualidade das águas numa bacia hidrográfica é de fundamental importância para assegurar o gerenciamento sustentado dos recursos hídricos e seus múltiplos usos (STRIEDER et al., 2003).

A necessidade de poder garantir a segurança e a qualidade da água destinada ao abastecimento público é preocupação em todos os países do mundo, pois é um item de necessidade impar para a plena sobrevivência dos seres humanos.

O objetivo deste artigo é comparar os procedimentos de controle da qualidade da água de abastecimento no Brasil e na Alemanha, apresentando diferentes programas e projetos de monitoramento e melhoria da qualidade da água potável e as legislações referentes à qualidade da água para consumo humano no Brasil e Alemanha de acordo com as orientações da Organização Mundial da Saúde (OMS) e União Europeia (UE).

1. *GUIDELINE* DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS) PARA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) atribui ao abastecimento de água sanitariamente segura, ou seja, com qualidade adequada ao consumo humano, um importante papel para a promoção da saúde, estimando-se um potencial de redução em até um décimo da carga de doenças global, desde que sejam implementadas medidas visando ao aumento do acesso à água potável, à promoção de boas práticas e à melhoria

dos procedimentos de gerenciamento da água, favorecendo a redução de riscos de transmissão de doenças e mortalidade infantil (WHO, 2017).

Em julho de 2011 foi lançada pela OMS a quarta edição das diretrizes sobre a qualidade da água para consumo humano que pede aos governos o reforço no controle da qualidade da água com planos de segurança que podem gerar melhorias significativas e sustentáveis de saúde pública. Apresentam novas soluções para garantir a segurança e qualidade da água potável, incluindo recomendações globais sobre boas práticas em todos os níveis, desde a coleta e armazenamento da água da chuva no domicílio e caminhões pipas, até orientações para a formulação de política de água potável de grandes sistemas de abastecimento, as suas implicações nas alterações climáticas e nas situações de desastres e emergências. Demonstam também recomendações sobre a segurança no consumo de água, os riscos microbiológicos ou as alterações climáticas, que têm impacto na temperatura da água e nos padrões da chuva, que, conseqüentemente, têm implicações na qualidade e escassez da água. Definindo um nível mínimo para evitar doenças, sendo válido mundialmente, mas não possuem valor legal.

2. NORMAS E LEIS BRASILEIRA EM RECURSOS HÍDRICOS

O conhecimento da Legislação é um grande instrumento para a garantia da preservação ambiental, estabelecendo direitos e deveres, limites e metas a serem atingidas, mantidas e obedecidas. Com as políticas e legislações buscando valorizar os recursos hídricos desde o início com o seu Código de Águas Brasileiro de 1934, que se adequava ao contexto sócio econômico da época. Com os seus instrumentos de gestão iniciando os trabalhos para uma gestão dos recursos hídricos do Brasil.

Lei Nacional 9433 de 8 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Dividida em 12 Capítulos, que tratam sobre os fundamentos, objetivos, diretrizes gerais de ações, dos instrumentos, da ação do poder público, dos objetivos e da composição do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos, do conselho nacional de recursos hídricos, dos comitês de bacias hidrográficas, das agências de água, da secretaria executiva do conselho de recursos hídricos, das organizações civis (BRASIL, 1997).

Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Está dividida em 5 capítulos, onde se classifica as águas em doces, salobras e salinas, classificando as mesmas em 13 classes. Esta classificação agrupa uma série de definições de acordo com a aptidão natural dos recursos hídricos, observando a sua qualidade, seus usos preponderantes, entre outras características específicas (BRASIL, 2017).

Portaria de Consolidação nº 5 do MS de 2017 (Revoga a Portaria MS nº 2.914/2011) Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Aplica-se à água para o consumo humano proveniente de sistemas coletivos e solução alternativa de abastecimento de água. Toda água destinada ao consumo humano deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água. Estabelece as competências da União, dos Estados e dos Municípios, do Responsável pelo Sistema de Abastecimento de Água para Consumo Humano.

Lei Estadual 12726 de novembro de 1999, que institui a política de recursos hídricos do Estado do Paraná e cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, como parte integrante dos recursos naturais do estado.

Resolução nº 04 do Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira - COALIAR, de 11 de julho de 2013, aprova proposição de atualização do enquadramento dos corpos de água superficiais de domínio do Estado do Paraná, na área de abrangência do Comitê das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira, em classes, de acordo com os usos ponderantes.

Decreto Estadual nº 4435, datado de 29 de junho de 2016, que declara as áreas de interesse de Mananciais de Abastecimento Público para a Região Metropolitana de Curitiba, com a finalidade de facilitar a implementação de estratégias de gestão de mananciais de forma a garantir a qualidade da água para abastecimento (PARANÁ, 2016).

3. NORMAS E LEIS EUROPEIAS SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

As políticas da União Europeia (UE) constituem o subsídio legal para a legislação correspondente para os seus países membros, influenciando as leis através de normativas e regulamentos. Existindo leis europeias que devem se tornar leis nacionais, com a Alemanha como país membro devendo se enquadrar nestes quesitos.

Eurobarometer em Água (EU, 2018), uma pesquisa de opinião representativa nos países da EU, mostra que a maioria dos Europeus reconhecem a gravidade dos problemas relacionados à água e apoiam ações mais intensas da UE para este tema, quase metade dos entrevistados estão preocupados com a poluição da água (47%), e em alguns países avaliados estes números sobem para até 71 %. Aproximadamente 75% dos cidadãos consultados consideram que medidas adicionais da UE para resolver problemas relacionados a água, com foco na poluição industrial e da agricultura, devem ser propostas. Questões pertinentes a secas, inundações e poluição química, são consideradas como desafios significativos, citando a poluição química como a maior ameaça para os recursos hídricos.

A nova Política Europeia da Água tem como premissa tornar as águas poluídas limpas de novo e garantir que as águas limpas sejam mantidas limpas. E para alcançar esses objetivos, os grupos de cidadãos e também individualmente terão papéis dos cruciais, fundamental para a garantia de sucesso na implementação da nova política. Sendo por isso a nova Política Europeia da Água de envolver e integrar os cidadãos e desenvolvida em um processo aberto de consulta envolvendo todas as partes interessadas.

UE, Diretiva 80/68/CEE referente a proteção e preservação dos recursos hídricos subterrâneos contra a poluição causada por substancias cancerígenas e mutagênicas, como contaminantes orgânicos, hidrocarbonetos e metais pesados e metaloides.

UE, Diretiva 98/83/CE datada de 3 de novembro de 1998, versa sobre a qualidade da água destinada ao consumo humano e possui o objetivo de proteger a saúde humana dos efeitos adversos da contaminação das águas para abastecimento público e assegurar a qualidade dos recursos hídricos.

UE, Diretiva 2000/60/CE de 23 de outubro de 2000, que estabelece ações e procedimentos para a gestão da política das águas, que deve ser defendida e protegida, com a necessidade de uma legislação comunitária em relação aos aspectos de qualidade ecológica dos recursos. Com o objetivo de estabelecer um enquadramento dos recursos hídricos para a garantia de proteção.

UE, Diretiva 2006/11/CE de 15 de fevereiro de 2006, relativa a poluição no meio aquático de substancias perigosa, como poluentes orgânicos, metais pesados, hidrocarbonetos e fixando a concentração e a quantidade máxima de determinada substância. Com os Estados Membros devendo tomar medidas adequadas para reduzir e/ou eliminar a poluição dos recursos hídricos.

UE, Diretiva 2013/51/EURATOM de 22 de outubro de 2013 que estabelece requisitos gerais para proteger a saúde pública em relação às substâncias radioativas presentes na água destinada ao consumo humano. Fixando valores permitidos para os elementos, bem como os métodos de análises e monitoramento e frequência amostral.

WHG - *Wasserhaushaltsgesetz* com o título de Lei das Águas regulamenta as diretivas europeias mencionadas anteriormente sobre os recursos hídricos. Tornando estes regulamentos em legislação nacional Alemã. Contendo disposições sobre o uso e proteção dos recursos hídricos, assim como regulamentos para a gestão dos corpos d'água e proteção contra inundações.

Trinkwasserordnung (TrinkwV) de 2006, com a última alteração em 2018, é o decreto sobre água potável, que regulamenta as diretivas 98/83/EC e 2013/51/EURATOM em legislação nacional Alemã. Foi dividido em 8 seções, na primeira a regulamentação geral para proteger a saúde humana contra efeitos negativos resultantes da

contaminação de água. Seguida da composição da água para consumo humano, livre de germes, limpa, apetitosa, etc. condicionamento, obrigações do empreendedor e dos demais donos de uma unidade de abastecimento de água, supervisão, regulamentação especiais, crimes e irregularidades e regulamentação transitória e final. Possuindo 6 anexos, parâmetros microbiológicos, químicos, indicadores, extensão e frequência de análises, especificações para a análise dos parâmetros e meios para o condicionamento em casos especiais (NEUFFER, 2018).

Norma DIN 2000 de 2017: abastecimento com água potável central, orientações para a qualidade da água potável, planejamento, construção, operação e manutenção da rede de abastecimento, regulamentação técnica da DVGW – *Deutscher Verein im Gas- und Wasserfach* (Associação Alemã no Setor de Abastecimento de Gás e Água) (NEUFFER, 2018).

4. EXEMPLOS DE MONITORAMENTO E PROCEDIMENTOS DE CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

Na sequência tem-se alguns projetos executados pela companhia de saneamento detentora da concessão dos recursos hídricos para o abastecimento público da região. A integração das diferentes instituições responsáveis pela salvaguarda dos recursos ambientais, com especial ênfase aos recursos hídricos, é de extrema importância para o sucesso dos projetos e garantia da manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

4.1. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (RMC).

A Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) realiza o monitoramento mensal da qualidade da água bruta para o abastecimento público através do Índice de Qualidade da Água (IQA). Para compor o índice dos reservatórios são analisados oito parâmetros e atribuídos pesos para o produto matemático que compõem o cálculo do IQA: cianobactérias, oxigênio dissolvido (OD), profundidade média, profundidade de Secchi, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total, fósforo total e tempo de residência. Já para o IQA em rios são analisados oito parâmetros: coliformes termotolerantes, OD, turbidez, sólidos dissolvidos, DQO, nitrogênio total, fósforo total e pH. O IQA, na condição de índice global de qualidade, permite acompanhar a variação da qualidade ao longo do tempo, num mesmo ponto, bem como compará-la com pontos diversos (MOREIRA et al., 2017).

Com estes resultados servindo de base para o controle da qualidade da água de abastecimento público e para medidas de controle que objetivam manter a disponibilidade hídrica dentro de padrões de qualidade e quantidade que possam garantir as necessidades atuais sem comprometer os diferentes usos e evitar conflitos entre os diversos interesses pelo recurso.

Na Figura 1 a seguir estão plotados os pontos de monitoramento da qualidade da água dos mananciais de abastecimento público de Curitiba e RMC. Com amostragens nos reservatórios e afluentes, bacias incrementais (Rio Iraizinho, Pequeno, entre outros), captações e entrada de ETAS com o intuito de melhor cobrir a malha amostral de uma maneira viável, econômica e representativa, seguida de análise dos parâmetros de qualidade para posterior cálculo do IQA.

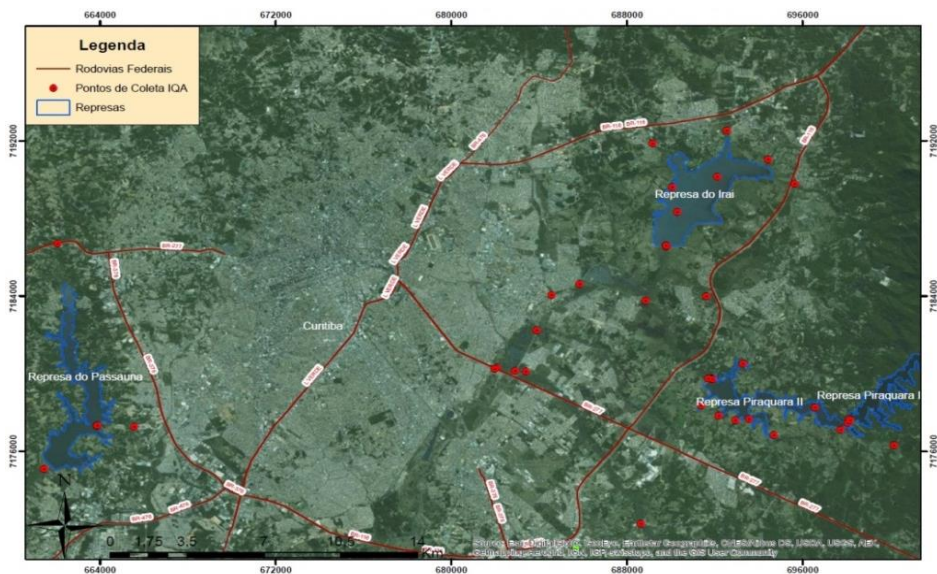


Figura 1 Mananciais de abastecimento de Curitiba e RMC e pontos do IQA
Fonte Adaptado de MOREIRA et al., 2017

Os resultados utilizados no cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), que é realizado por meio do produtório ponderado dos diferentes parâmetros, que na sua maioria indicam contaminação por esgotos domésticos e é utilizado para avaliar a qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público, de uma maneira ágil e eficiente. O índice varia de acordo com os resultados encontrados dispostos nas faixas descritas na Tabela 1, disposta a seguir, composta por cinco faixas do índice que variam

da avaliação da qualidade de péssima, ruim, passando por razoável, boa e chegando a ótima, com o seu valor variando de 0 a 100.

Tabela 1 - Faixas do IQA

Faixa IQA	Avaliação Qualidade da Água
91 - 100	Ótima
71 - 90	Boa
51 - 70	Regular
0 - 50	Ruim

Fonte: Adaptado de MOREIRA et al. 2017

Pode-se notar na Tabela 2 os resultados encontrados referente ao monitoramento do ano de 2017 no ponto amostral denominado saída do reservatório Piraquara I, situado na RMC e compondo o sistema de abastecimento integrado da RMC (Figura 2). Com os valores encontrados em amostragens mensais de Oxigênio Dissolvido (OD), *Escherichia coli*, Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (Nit Tot), Fósforo Total (Fos Tot), Sólidos dissolvidos (Sol Dis) e Turbidez (Turb), dispostos para as respectivas datas de amostragem e o IQA calculado.



Figura 2 - Reservatório Piraquara I e visão geral da vertente ocidental da Serra do Mar
Fonte: AUTOR, 2016

A CETESB realiza o monitoramento da qualidade da água do estado de São Paulo, onde através de publicações e relatórios, sintetizam os resultados obtidos pelas redes de monitoramento das condições da qualidade das águas interiores com um total de 449 pontos monitorados em relação a parâmetros físico-químicos e microbiológicos (CETESB, 2017).

Tabela 2 - Monitoramentos em 2017 do ponto amostral saída do reservatório Piraquara I

Data	OD (mg/L)	<i>E. coli</i>	pH	DQO (mg/L)	Nit Tot (mg/L)	Fos Tot (mg/L)	Sol Dis (mg/L)	Turb (NTU)	IQA
24/01	7,52	1	7,2	24	0,8	0,029	22	1,5	87
22/02	7,09	2	4,2	7	0,49	0,029	14	1,8	90
14/03	7,67	9	7	5	0,49	0,029	24	2,5	97
24/04	7,5	40	7,2	5	0,49	0,029	36	2,9	95
25/05	8,3	36	7,1	12	0,49	0,029	18	5,5	92
19/06	8,3	18	7,3	5	1,3	0,029	130	1,6	92
17/07	8	2	7,4	7	0,5	0,029	218	1,4	89
21/08	8,5	17	7,1	5	0,49	0,029	18	1,4	97
18/09	8,3	15	7,2	5	0,80	0,029	76	1,5	94
16/10	8	18	6,6	7	0,90	0,029	80	2,4	92
20/11	8	5	6,8	8	0,50	0,029	54	4,1	93
19/12	7,7	6	7,4	30	0,49	0,029	44	1,9	84

Fonte: Adaptado de MOREIRA et al. 2017

4.2. SINALIZAÇÃO DE MANANCIAIS

Com o objetivo de evitar acidentes que possam comprometer o abastecimento público, mantendo a qualidade e a manutenção do serviço de produção de água o Projeto Sinalização de Mananciais objetiva alertar os motoristas que trafegam por estradas que cortam as bacias de captação, principalmente os que transportam cargas perigosas. A Companhia de Saneamento do Paraná, opera 152 (cento e cinquenta e duas) captações de águas superficiais que podem ser afetadas por incidentes com produtos perigosos com possibilidade de contaminar os cursos hídricos. As placas de sinalização são instaladas nos trechos das estradas que cortam as bacias de captação, no seu início e

final. A priorização do projeto é estabelecida segundo critérios e cálculos que englobam diversas variáveis, como a distância entre o ponto de captação da água bruta e a rodovia que corta a bacia, a intensidade do tráfego e histórico de acidentes na rodovia monitorada e a quantidade de pessoas abastecidas pelo manancial (SANEPAR, 2013). A companhia possui ainda um número de emergência ambiental

Na Figura 3 nota-se as placas de sinalizações referentes à Área de Proteção Ambiental (APA) dos mananciais do Irai e Passaúna a estrada passando próxima à área alagada da barragem de abastecimento público do Irai. Com a intenção de garantir a qualidade da água destinada ao abastecimento público medidas de controle são tomadas em caso de acidentes em rodovias que cortam os mananciais. Com a comunicação dos fatos para todos os atores envolvidos e medidas de controle na entrada da estação de tratamento que podem até ter as suas operações suspensas dependendo da gravidade e grau do incidente.



Figuras 3.- Placas de sinalizações e rodovia próxima às margens do reservatório do Irai e Passaúna (RMC-PR)

Fonte: AUTOR, 2016 e 2018

4.3. PROGRAMA DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS (PRRU)

O Programa de Revitalização de Rios Urbanos (PRRU) é um método alternativo para a localização de pontos frágeis na Rede Coletora de Esgoto (RCE), sem a necessidade de acesso ao interior dos dutos. Seu recurso básico é o rio que fornece evidências de eventos poluidores e orienta a sua localização, nas campanhas de manutenção corretiva. O método do PRRU identifica os principais aportes de carga orgânica no rio, por meio do aspecto visual e olfativo e a concentração de oxigênio dissolvido em suas águas. Diagnosticados os efeitos, procede-se à localização das causas, sejam estas devidas a edificações não conectadas à rede coletora ou a eventuais pontos frágeis na estrutura coletora, além de outras possibilidades. O PRRU localiza os principais eventos poluidores na bacia hidrográfica do rio, empregando como equipamento somente o oxímetro. Como resultado, tem-se a identificação e correção de eventos poluidores, uma maior efetividade das soluções de esgotamento sanitário na bacia e melhor qualidade operacional da rede coletora e menor poluição hídrica (Penido, 2014).

Apesar do programa ser projetado e desenvolvido para a utilização na melhoria da qualidade da água em bacias hidrográficas urbanas, a metodologia é também utilizada em mananciais de abastecimento público que possuem cobertura por RCE em seu entorno como também em seus rios afluentes e bacia hidrográfica. Utilizando o programa como uma ferramenta de controle para a garantia da qualidade da água bruta utilizada para abastecimento público. Com praticamente todos os pontos de fragilidades da bacia de captação plotados em arquivos de geoprocessamento, com um banco de dados integrado.

Na Figura 4 verifica-se uma ocorrência de fragilidade na RCE que extravasou nas margens da represa utilizada para abastecimento público. Com as suas consequências alterando os parâmetros de qualidade da água referentes a tais tipos de poluição, como matéria orgânica e coliformes, entre outros.

5. EXEMPLOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL NO LAGO DE CONSTANÇA EM BADEN-WÜRTTEMBERG – ALEMANHA

A qualidade da água do Lago de Constança (*Bodensee*) possui uma qualidade muito boa, por exemplo, com níveis baixos de fósforo entre 6 a 8 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com as baixas concentrações de nutrientes refletindo no bom suprimento de oxigênio dissolvido nas profundezas do lago garantindo também uma boa circulação das águas. Dados de monitoramento da qualidade em relação aos micropoluentes indicam ausência de valores acima dos limites estabelecidos por lei.



Figura 4 - Situação de fragilidade da RCE as margens do reservatório de abastecimento
Fonte: AUTOR 2016

5.1. ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO LAGO DE CONSTANÇA

Sistema de captação e tratamento do Lago de Constança, que está em funcionamento há quase 60 anos sem interrupção e sob a concessão da empresa estatal Bodensee Wasserversorgung (BWV), localizado no município de Überlingen/ Sipplingen. A operação é realizada por uma equipe multidisciplinar, de diferentes áreas. Com um efetivo de aproximadamente 350 colaboradores, com formação variando de técnicos elétricos, mecânicos, engenheiros, químicos, entre outros. Com equipes até para remover a neve, não dependendo de outros para realizar os seus trabalhos.

A partir da metade do século passado, houve um aumento preocupante da eutrofização do Lago de Constança, causada pela poluição excessiva com águas residuais não tratadas e pelo aumento associado do conteúdo de fósforo na água. Logo ficou claro que o colapso iminente do Lago Constança só poderia ser evitado com rigorosas medidas de proteção da água coordenadas em toda a área de captação. Em 1959, Baden-Württemberg, Baviera, Áustria e Suíça (cantões de St. Gallen e Thurgau) fundaram a Comissão Internacional de Proteção das Águas do Lago de Constança (IGKB). A Convenção sobre a Proteção do Lago de Constança contra a Poluição, de 27 de outubro de 1960, entrou em vigor em 10 de novembro de 1961. Até hoje, esta é a base jurídica legalmente vinculativa para medidas de articulação e paridade para a proteção do Lago de Constança e para a melhoria constante de sua condição.

O Lago de Constança possui área de 540 km², comprimento de 63 km, com 15 km de largura e 254 m de profundidade. Alemanha, Áustria e Suíça fazem as fronteiras com o lago. Aproximadamente 4 milhões de habitantes em 320 Cidades e Municípios de Baden-

Wurttemberg fazem uso destas águas. Com área de recreação em torno do lago, como uma área de veraneio e diversos usos do lago. A entrada do rio Reno no lago de Constança, que é o seu principal formador, traz muito material, tais como sedimento dos Alpes, cascalho, areia, entre outros tipos de materiais. Possui outros afluentes que contribuem com o segundo maior rio afluente drenando da Áustria chamado de rio "ille".

A Alemanha possui 14 pontos de captação no lago. A Áustria não capta diretamente no lago, somente nos seus afluentes e a Suíça somente uma captação direta no lago. Perfazendo um total captado de 560 mil $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.

A captação que abastece a cidade de Stuttgart está situada estrategicamente a 60 km de distância da entrada do rio Reno no lago, com o tempo de chegada da água da entrada do lago até a captação de seis dias é para já para ir sedimentando os sólidos. Está localizada a uma distância de 400 m da margem e a uma profundidade de 60 m. Captam uma média de $4.100 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$, com um máximo de $9.000 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$.

Na Figura 5 pode-se ver a chegada da água do Lago de Constança na entrada da Estação de Tratamento de Água (ETA), após a captação.



Figura 5 - Entrada água na ETA
Fonte: Arquivo fotográfico PPGMAUI turma 2016

Quase não existe vazamento da rede de esgotos na bacia do lago, existe uma rede coletora de esgotos (RCE) ao redor do lago há 35 anos. Quem não possui cota para se ligar na rede tem que bombear seu efluente até a RCE. E para lançar efluente tratado no lago existem leis específicas muito mais restritivas do que para lançar em outro rio como

o Neckar por exemplo. O sistema coletor é misto, com as águas das chuvas fluindo para a planta de tratamento junto com o efluente, este sistema tem um limite hidráulico, possuindo instalações para conter o extravasamento e diminuir o lançamento para o lago, o que acontece raramente e em condições de diluição. Como a bacia do lago é muito grande é difícil ocorrer uma precipitação em toda a sua área que vá fazer com que o sistema coletor entre em extravasamento geral. Havendo chuvas em locais distintos da bacia, diminuindo a vazão que chega a este sistema.

5.2. *INSTITUT FÜR SEENFORSCHUNG – ISF (INSTITUTO DE PESQUISA DE LAGOS)*

O Instituto possui como principais atividades o monitoramento, avaliação e consultoria, no Lago de Constança e em outros 4.000 lagos e lagoas menores de Baden-Württemberg. Monitora parâmetros de qualidade de água, vida pelágica e bentônica, além dos sedimentos de fundo. Avalia parâmetros físico-químicos, poluentes, hidromorfologia e vida aquática. Presta consultoria para governos estaduais, autoridades locais, engenheiros, planejadores e cidadãos, nas questões relacionadas à construção e manutenção de portos, diques, restauração das margens e projetos de pesquisa.

Os estudos relacionados à hidroquímica ocorrem pela busca de substâncias dissolvidas na água, como por exemplo, nutrientes (oxigênio, fósforo e nitrogênio) e poluentes (pesticidas, metais pesados, produtos farmacêuticos e hormônios). O monitoramento do fósforo no lago é realizado desde 1950, sendo o seu decréscimo resultado principalmente da implantação de ETEs eficientes.

O Lago de Constança é um lago internacional, pois está na fronteira de três países: Alemanha, Suíça e Áustria, e sua área de captação vai além, com contribuição também da Itália e Liechtenstein. Desde 1959 a Comissão Internacional para Proteção do Lago de Constança – IGKB (*Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee*), cuida do lago, principalmente das questões relacionadas à água fronteira. O trabalho internacional desta comissão trata de assuntos como: monitoramento das fronteiras, detecção das causas de poluição, recomendações, aprimoramentos e discussão de usos planejados.

A bacia do Lago de Constança apresenta alta densidade populacional, e o ISF e IGKB estão envolvidos no gerenciamento da região. Existe um controle de atividades potencialmente poluidoras dos recursos hídricos executadas nas margens do lago como a agricultura e no uso da lâmina de água pelo turismo, navegação e pesca.

O Lago de Constança apresenta múltiplos usos, dentro eles o uso para abastecimento público. Em 1895 os primeiros trabalhos de pesquisa relatam que os usos da água para abastecimento foram instituídos. Atualmente, o lago serve como

reservatório de água potável para cerca de 5 milhões de pessoas. A água é considerada de alta qualidade com baixo teor de carbonato de cálcio e nitrato.

O instituto participa dos trabalhos do Programa Europeu Copernicus, com a coordenação técnica sob a supervisão da Agência Espacial Europeia, realizam o monitoramento de corpos aquáticos através da utilização do sensoriamento remoto com uma rede de satélites. Fornecendo um conjunto completo de dados sobre o estado físico e biogeoquímico do ambiente, podendo ser acessado os dados on-line (ISF, 2018).

Estudos sobre os diferentes usos e ocupações do solo no entorno do lago são realizados pelo Instituto, o projeto possui o nome de “Efeitos das alterações hidromorfológicas das margens do lago de Constança”, sobre o balanço de sedimentos, macrófitas e macrozoobentos, com o objetivo de otimizar estratégias de mitigação dessas alterações. Investigando os efeitos das mudanças antropogênicas na zona costeira do lago, tais como: instalações portuárias, margens de rios, estruturas de proteção. Com ênfase na compreensão dos processos hidrodinâmicos e morfológicos, com soluções para o planejamento da paisagem sustentável, devido às reivindicações dos múltiplos usos e conflitos. A estratégia é baseada em uma abordagem interdisciplinar que conecta cientistas e diferentes usuários da bacia, de diferentes países e autoridades, para em um trabalho em conjunto restaurar as margens do lago (HYMOBYO, 2018).

A influência da água subterrânea na quantidade e qualidade do Lago de Constança, também é parte de estudos do Instituto. Em parceria com diversas instituições é realizado o projeto SEEZEICHEN, que pesquisa a quantidade de água subterrânea que flui para o lago e qual os efeitos na qualidade da água. Contribuindo para garantir a estabilidade ecológica e a qualidade da água potável do lago, os resultados fazem parte de recomendações para a proteção dos recursos hídricos (SEEZEICHEN, 2018).

Foram realizados pelo Instituto, em parceria com outras instituições, estudos em estações de tratamento de efluentes e bacias de contenção de tempestades, para a redução de micropoluentes e bactérias patogênicas nos diferentes tratamentos na bacia hidrográfica do rio Schussen, um dos principais afluentes do Lago de Constança. Além dos parâmetros usuais da água, como temperatura da água, pH, teor de oxigênio e fósforo, concentração de nitrato e amônio, micropoluentes são o foco do projeto de pesquisa. Incluem pesticidas, metais pesados, resíduos farmacêuticos, adoçantes e toda uma gama de produtos químicos industriais (SCHUSSENAKTIV, 2018).

5.3. SINALIZAÇÃO DE MANANCIAIS NA ALEMANHA

As rodovias alemãs que cortam áreas de mananciais de abastecimento também possuem sistemas de sinalização, para os motoristas saberem que estão transitando em área de proteção de manancial de abastecimento público. Nota-se na Figura 6 este

exemplo de sinalização, com a representação de um caminhão andando sobre as águas e a frase “Área com água protegida”, indicando aos motoristas que estão transitando em um local com reservas de águas destinadas ao abastecimento público e devem tomar cuidados e estão sujeitos a legislações específicas para proteção dos mananciais de abastecimento.



Figura 6 - Placa de Sinalização de Mananciais na Alemanha
Fonte: NEUFFER, 2018

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com estes resultados avaliados anteriormente conclui-se que ambos os países possuem legislação referente ao assunto de controle sobre a qualidade da água para abastecimento, sendo adequadas para as pretensões que se propõem, apropriadas para a gestão dos recursos necessitando de atualizações e de garantias de fiscalização e assim fazendo com que se cumpra a lei.

Pode-se concluir que as questões relativas à preocupação com a qualidade da água já se fazem presente a longo tempo na comunidade Alemã e Europeia, com esse cuidado em relação aos recursos hídricos tanto em qualidade com em quantidade e também em questões relativas ao tratamento de águas residuais em nível de remoção de micropoluentes, derivando da necessidade de gerenciamento integrado das questões relativas aos diferentes usos das águas, com o sistema de informações integrado e unificado, facilitando prognósticos e monitoramento e remediações.

As preocupações com a integridade dos mananciais de abastecimento de Curitiba e RMC é realizada de maneira integrada entre as diferentes instituições que podem zelar por este recurso. Com o objetivo de garantir a segurança para as atividades de captação, tratamento e distribuição de água potável necessária a garantir e satisfazer as necessidades da população como um todo. O monitoramento dos mananciais de abastecimento de Curitiba e RMC é satisfatório para garantir a qualidade dos recursos, devendo ser realizado em consonância com outras ferramentas de gestão que garantam a integridade dos mananciais.

Os exemplos a serem seguidos dos estados Alemães, são de extrema valia para a garantia da qualidade da água para o abastecimento público, porém devemos nos preocupar com as nossas características específicas de nossos sistemas antes de ir implementando as ações de outros continentes diferentes das especificidades locais, com o cuidado de diferenciar as possíveis adequações as nossas realidades.

O monitoramento da qualidade da água do Lago de Constança, assim como a sinalização de mananciais na bacia hidrográfica do lago, são ferramentas de extrema valia para a efetiva gestão dos recursos hídricos, garantindo uma água de excepcional qualidade captada que é tratada e minimiza os riscos e aumenta a efetividade do tratamento diminuindo insumos e tempo de detenção e contato.

Assim, devemos nos preocupar em deter os conhecimentos mínimos que nos permitam minimizar ou até dizimar os impactos negativos das consequências do desenvolvimento. Integrando a gestão dos recursos hídricos a gestão ambiental e socioeconômica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMANHA. *TrinkwV – Trinkwasserverordnung. Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.* Neufassung 10.03.2016. Zuletzt geändert 03.01.2018.

ALEMANHA *DVGW DIN 2000: 2017-02. Zentrale Trinkwasserverordnung – Leitsätze für Anforderungen na Trinkwasser,* Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen, 2017.

ALEMANHA. *WHG – Wasserhaushaltsgesetz. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts.* 31.09.2009. Zuletzt geändert 18.07.2017.

ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I. Introdução Capítulo I.in *Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão.* Editor ANDREOLI, C.V. SANEPAR/FINEP. Curitiba, 2003, 494 pg.

ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C.; GOBI, E.F.; CUNHA, CYNARA. Eutrofização e a estrutura dos estudos. In CUNHA, C.L.N.; CARNEIRO, C.; GOBBI, E.F.; ANDREOLI, C.V. *Eutrofização em reservatórios : gestão preventiva. Estudo interdisciplinar na bacia do rio verde,* Pr. Ed. UFPR, Curitiba, 2011.

BRASIL. *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1 da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.*

BRASIL, *Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.*

CETESB. *Relatório qualidade das águas interiores no estado de São Paulo – 2016.* São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental CETESB, 2017. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em 02/05/2018.

HyMoBio. Disponível em <http://hymobiostrategie.de>. Acesso em 15/04/2018.

Introduction to the new EU Water Framework Directive, Disponível em http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/intro_en.htm. Acesso em 20/04/2018.

ISF. *Institut fuer Seenforschung, Langenargen, Alemanha.* Disponível em www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/institut-fuer-seenforschung. Acesso em 22/09/2018.

MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Revista agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, v.3, n.4, Porto Alegre, 2002.

MOREIRA, C. P.; NEUFFER, D.; VALE JUNIOR, P.A.; SHEER, M.B.; ALVARENGA, E.C. Aplicação de índices de qualidade da água - IQA para o monitoramento dos mananciais de abastecimento público da região metropolitana de Curitiba – Paraná, Brasil. *Congresso ABES*, 2017.

NEUFFER, D. *Material de aula, curso Tratamento de água Potável e de Processo*, Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial, UFPR-Universidade de Stuttgart, 2018.

PENIDO, L.R. *Metodologia de apoio à manutenção de rede coletora de esgotos.* Dissertação apresentado ao curso de Meio Ambiente urbano e industrial, UFPR, 2014.

PARANÁ, *Lei nº 12.726 de 26 de novembro de 1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e criou o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.*

_____. *Decreto Nº 4435 de 29 de junho de 2016 que declara as áreas de interesse de mananciais de abastecimento publico para a região metropolitana de Curitiba e dá outras providencias.*

SANEPAR. *Companhia de Saneamento do Estado do Paraná.* (2013). <http://site.sanepar.com.br/noticias/sinalizacao-em-mais-22-areas-de-mananciais-de-abastecimento>. Acesso em 02/04/2018.

SCHUSSENAKTIV. Disponível em <http://schussenaktivplus.de/de/home>. Acesso em 21/04/2018.

SEEZEICHEN. Disponível em <http://www.seezeichen-bodensee.de>. Acesso em 21/04/2018.

STRIEDER, M. L.; ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; FORSTHOFER, E.L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L.L. . Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, p. 109-119, 2003.

UE, DIRETIVA 80/68/CEE, *Relativa a proteção das águas subterrâneas contra a poluição causada por certas substâncias perigosas*. 17.12.1979.

UE, DIRETIVA 98/83/CE, *Relativa a qualidade da água destinada ao consumo humano*. 03.11.1998.

UE, DIRETIVA 2000/60/CE, *Estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água*. 23.10.2000.

UE, DIRETIVA 2006/11/CE, *Relativa à poluição causada por determinadas substâncias perigosas lançadas no meio aquático da Comunidade*. 15.02.2006.

UE, DIRETIVA 2013/51/EURATOM, *Estabelece requisitos para a proteção da saúde do público em geral no que diz respeito às substâncias radioativas presentes na água destinada ao consumo humano*. 23.10.2013.

VIERA, J.M.P.; MORAIS, C.; ALEXANDRE, C. & CASIMIRO, R *Planos de Segurança em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água para Consumo Humano*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Universidade do Minho. 2005.

VON SPERLING. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Vol. 1, 3 ed. 452 pg.

WHO *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*.

AVALIAÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO EM ESTAÇÕES-TUBO
PARA AS DIFERENTES ÁREAS DE ZONEAMENTO DA
CIDADE DE CURITIBA

GEANESSON ALBERTO DE OLIVEIRA SANTOS
REGINA WEINSCHUTZ
ALVARO LUIZ MATHIAS
PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN



AVALIAÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO EM ESTAÇÕES – TUBO PARA AS DIFERENTES ÁREAS DE ZONEAMENTO DA CIDADE DE CURITIBA⁷

Em 1991, a cidade brasileira de Curitiba, capital do estado do Paraná, adotou os abrigos para passageiros, chamados de Estações-Tubo, para facilitar o embarque e desembarque no percurso dos ônibus do sistema *Bus Rapid Transit* (BRT) e dos ônibus “ligeirinhos” (BRT BRASIL, 2014).

As Estações - Tubo estão instaladas em ambientes onde se trafegam muitos veículos, refletindo no elevado nível de ruído de tráfego. No Brasil, não há uma norma ou lei específica para ruído de tráfego, por isso foi adotada a orientação da norma brasileira ABNT NBR 10.151:2000 sobre “avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade”. Ela orienta como realizar ensaio de medição de ruído e define limites da poluição sonora ambiental em áreas próximas a residências, comércios, escolas e regiões mistas. Assim, dada à importância do tema, os dados coletados deste trabalho foram submetidos aos critérios padrões de aceitação para a construção de imóveis em vias públicas, do HUD/USA (2011), *Department of Housing in Urban Development*-HUD dos Estados Unidos. Também os dados coletados de imissões de ruídos deste trabalho, provenientes de ruas, vias de ônibus coletivo e rodovias, foram comparados a lei municipal de Curitiba nº 10.625:2002. Ela contém limites para níveis de pressão sonora equivalente para esses locais de medições, os quais pertencem a diferentes áreas de zoneamentos e setores do município.

Atualmente o ruído gerado por automóveis e ônibus urbanos atinge usuários que estão nas ruas próximos a vias urbanas. Neste contexto, especialmente em uma cidade como Curitiba, o crescimento da frota de automóveis aumenta juntamente com a poluição sonora. O número de veículos automotivos de Curitiba aumentou em 39% em 13 anos, compreendido entre dezembro de 2001 (722.997) e janeiro de 2014 (1.004.256) (DENATRAN, 2014). O impacto do ruído de tráfego sobre a saúde tem sido objeto de vários estudos na cidade de Curitiba, podendo-se citar alguns exemplos como: Soares et al. (2014), os pesquisadores analisaram objetivamente a distribuição da frequência, onde foi identificado em todos os pontos de medições Níveis Equivalentes de Pressão Sonora acima do limite permitido à lei 10.625:2002, devido ao grande tráfego de veículos nas vias próximas ao campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. Eram níveis Mínimos, Máximos e Equivalentes de pressão sonora, elevados em ampla faixa de frequência, entre 63 Hz à 12.500 Hz. Também Fiedler e Zannin (2015), realizaram um

⁷ Agradecimentos: Os autores agradecem à UFPR, ao CNPq e ao DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst), Serviço Alemão de intercâmbio Acadêmico, pelo financiamento deste trabalho.

levantamento do nível de ruído equivalente no Setor Especial BR-116, chamada de Linha Verde no setor norte da cidade. Através de monitoramento e plotagem de mapeamento acústico, se identificou níveis de ruído que ultrapassaram os valores limites deste setor, e ainda nas margens da via próximos as edificações os valores chegavam facilmente a 70 dB(A).

Esta modalidade de ruído de tráfego é um objeto interessante de estudos, pois atinge milhares de pessoas, pedestres urbanos e passageiros dos sistemas de transporte. Este trabalho se torna importante e inédito, pois identifica quais áreas próximas as Estações – Tubo são poluídas acusticamente.

1. RUÍDO AMBIENTAL

A poluição sonora é chamada de ruído ambiental, pois considera o ambiente utilizado direta ou indiretamente por uma parcela da população, excluindo-se o conforto do trabalhador em seu local de trabalho. Inclusive, a denominação tempo de exposição, para o ruído ambiental não é tecnicamente utilizada, pois se trata de efeitos fisiológicos em mais de um indivíduo (BISTAFA, 2006). Desta forma, a avaliação dos efeitos do ruído ambiental sobre uma comunidade demanda medições objetivas de níveis de ruído, subjetivas de percepção e suas correlações com os efeitos fisiológicos deletérios da população em uma comunidade.

Os tráfegos rodoviário, ferroviário e aéreo, bem como escolas, ginásios esportivos, parques públicos, shows musicais e também indústrias, são fontes de ruído ambiental da vizinhança urbana (CONCHA-BARRIENTOS, CAMPBELL-LENDRUN, STEENLAND, 2012). Essa poluição pode causar deficiência auditiva, sendo geralmente definida como um incremento na curva de limiar de audição, e zumbido nos ouvidos. Isto ocorre entre 3.000 Hz a 6.000 Hz, sendo o maior efeito a 4.000 Hz (BERGLUND, LINDVALL, SCHWELA, 2000; CONCHA-BARRIENTOS, CAMPBELL-LENDRUN, STEENLAND, 2012; DOBIE, 1995; BROWN, LAM, 1987).

O Centro Europeu para Saúde e Meio Ambiente da Organização Mundial da Saúde demonstrou que, o Ruído Ambiental é o terceiro maior fator de doenças relacionadas ao ambiente, estando atrás apenas de poluição do ar e exposição indireta a fumaça do cigarro (BELOJEVIC, KIM, KEPHALOPOULOS, 2012). Seu ruído contribui com o aumento do nível médio equivalente de pressão sonora, logo um problema ambiental, sendo uma poluição tóxica e de abrangência continental (PAZ, ZANNIN, 2012). Ele prejudica a saúde física e mental do ser humano, causando alterações fisiológicas nos sistemas: nervoso central, digestivos, cardiovascular e imunossupressores (BRAUBACH, JACOBS, ORMANDY, 2011; HELLMUTH et al., 2012; SOBOTOVÁ et al., 2001).

O *U.S. Department of Housing in Urban Development* - HUD (Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos Estados Unidos) definiu requisitos gerais de legislação e regulamentação para projetar novas construções e reformar edificações preexistentes (Quadro 1). Os valores de nível equivalente superiores a 65 dB(A) foram considerados como de altas densidade de energia acústica, ou seja, a população urbana está submetida a um grande risco à saúde, incluindo desequilíbrio emocional, perda de sono e distúrbios comportamentais (ZANNIN et al., 2002; CALIXTO, DINIS, ZANNIN, 2003).

Quadro 1 – Nível de ruído equivalentes recomendado para habitações nos E.U.A.

Critérios da HUD	Média em 24 h do nível de ruído, em dB(A)
Aceitável	Menor ou igual a 65 dB
Geralmente inaceitável	Maior que 65 dB, mas menor ou igual a 75 dB
Inaceitável	Acima de 75 dB

Fonte: Adaptado de HUD/USA, 2011.

1.1. RUIDO DE TRÁFEGO

O intenso fluxo de tráfego veicular é um dos principais agentes de riscos ambientais da vida urbana contemporânea, já que é a fonte do ruído imitado nas vias de tráfego. Brasil, Índia e China, em estágio de desenvolvimento, apresentam acréscimo exacerbado do número de veículos e correspondente aumento de poluição sonora (ZANNIN, SANT'ANA, 2011; SOARES et al., 2014). Os efeitos deletérios do ruído no ambiente urbano foram caracterizados quali-quantitativamente por entrevista da população Curitiba e causam: irritabilidade (58%), dificuldade de concentração (42%), insônia (20%) e dores de cabeça (20%); sendo que o principal fator de aborrecimento é o ruído de tráfego de veículos, seguido pelo ruído causado pelos vizinhos (ZANNIN et al., 2003).

2. A EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO EM CURITIBA

A tradição da cidade de Curitiba como pioneira em urbanismo e transporte público começou em 1887 (Figura 1) com uso de bonde com tração animal. O valor das passagens era diferenciado, primeira classe a 200 réis e segunda a 100 réis (CURITIBA, 2014), o que já revelava uma preocupação com a viabilidade econômica do usuário.

As ações de melhorias da mobilidade foram constantes, como a instalação dos ônibus expressos em vias exclusivas, canaletas, em 1974 (URBS, 2014). No ano de 2011 esse

sistema também contou com embarque e desembarque, viabilizado pelas Estações-Tubo, ao nível do piso do ônibus. O sistema é conhecido mundialmente pela sigla BRT ou "*Bus Rapid Transit*", sendo que popularizou a imagem do bem sucedido "metrô sobre rodas" de baixíssimo custo em relação ao tradicional metrô (BRT BRASIL, 2014). As Estações-Tubo também são abrigos para passageiros e estão associados a sua eficiência e sua marca (FERNANDO, ROCHA, 2005), sendo uma nova forma arquitetônica com expressão do transporte público de Curitiba.

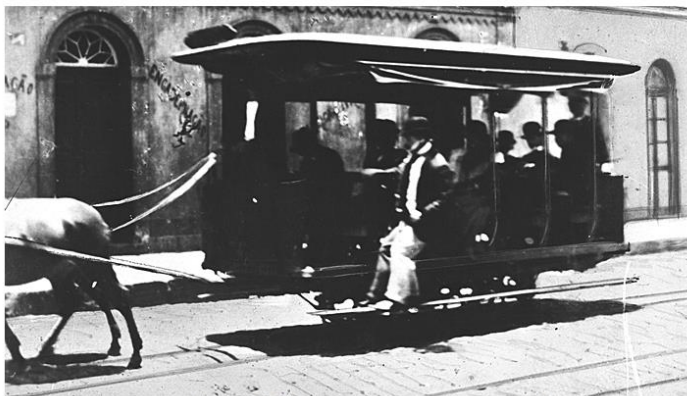


Figura 1 – Sistema de transporte conduzido por mulas em 1987, na cidade de Curitiba.
Fonte: CURITIBA, (2014)

2.1. AS ESTAÇÕES-TUBO

As Estações - Tubo, ou somente Estações, destacam-se pela beleza arquitetônica superior, quando comparada a outros modelos de pontos de parada de passageiros, sendo uma atração turística que chama a atenção de milhares de turistas que visitam a cidade de Curitiba (MOURA, 2007). Em Curitiba, elas são instaladas em calçadas para pedestres, facilitando o acesso do usuário (URBS, 2014).

Neste estudo, essas Estações foram usadas como ponto de referência para avaliação ambiental devido à importância para os usuários e também para contemplar as diversas áreas urbanas. Existem algumas peculiaridades que podem ocorrer. Assim, é importante destacar que as vias de tráfego se caracterizam como se segue:

- Canaleta Exclusiva: Uma pista central utilizada exclusivamente por ônibus BRT, em cada lado da pista central uma via de tráfego em um único sentido para veículos leves. A separação física da faixa central e a via de veículos leves são feitas por calçadas, onde ali as Estações-Tubo são instaladas;

- Faixa Exclusiva: Uma via onde é destinada uma faixa para exclusividade dos ônibus BRT. Não há calçadas para a separação de ônibus e veículos leves. As Estações–Tubo estão instaladas nas calçadas de pedestres;
- Via Compartilhada: São vias em que os ônibus BRT compartilham a mesma pista com veículos leves e pesados. A Estação–Tubo é instalada na calçada de pedestre ou no meio da via quando há dois sentidos para o tráfego dos veículos;
- Via Exclusiva: São vias utilizadas exclusivamente por ônibus BRT. Não possuindo vias para automóveis nas suas extremidades e as Estações–Tubo podem ser instaladas na calçada de pedestre.

Ainda, uma Estação–Tubo geralmente recebe passageiros das 6:00h as 24:00h de segunda a segunda (JUNGLES et al., 2013). A população em geral acessa-as com uso de escada. Internamente, há uma catraca controlada pelo profissional cobrador de passagem. Os passageiros portadores de necessidades especiais utilizam um sistema de plataforma elevatória (Figura 2) comandada pelo cobrador.

3. LEGISLAÇÕES PARA AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA

O desenvolvimento urbano por meio da industrialização promoveu o aumento do ruído, dando a falsa sensação de sua inevitabilidade. O ruído do tráfego, uma das principais fontes da poluição urbana, não é exceção. Logo, são poucos os países que possuem legislação ou normas aplicadas ao ruído de tráfego. No Brasil, as normas e legislações são deficientes no campo de ruído de tráfego rodoviário em vias urbanas e não urbanas, sendo que não há normas para monitoramento e avaliação (PAZ, 2004). Também não há uma norma para o ruído de tráfego em ambientes próximos a abrigos de passageiros, como as Estações – Tubo.

O município de Curitiba também não possui uma lei específica para o monitoramento de ruído de tráfego. Por outro lado, encontra-se em situação privilegiada em relação a outras cidades, pois desde 1966, a Lei nº. 2.828/66 estabeleceu um plano diretor para minimizar problemas com serviços básicos de: infraestrutura urbana, habitação, saneamento ambiental, desenvolvimento sustentável e mobilidade urbana. Antes mesmo da Lei Federal nº. 10.257 de 2001 chamada Estatuto da Cidade, Curitiba já tinha aprovada em sua Câmara Municipal, na data de 3 de janeiro de 2000, a lei nº. 9.800 sobre a ementa "...Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo...", visando dar a cada região melhor utilização em função do sistema viário, do transporte público e incentivando à construção e ocupação ordenada nas áreas de setores residenciais, comerciais, industriais e mistas. Esta lei conceitua as zonas e setores que são utilizadas pela Lei Municipal nº. 10.625:2002 para estabelecer níveis críticos de ruído ambiental.



Figura 2 – Plataforma elevatória para acessibilidade diferenciada na entrada da Estação-Tubo Coqueiros

3.1. RESOLUÇÃO CONAMA N° 008/1993

Esta Resolução determina o nível máximo de ruído para cada categoria de veículo automotor na saída de fábricas instaladas no Brasil e de fábricas instaladas no exterior em que os veículos são importados para o Brasil (Quadro 2).

Quadro 2 – Limites máximo de ruídos emitidos por veículos em circulação

Tipo de Veículo	Faixa de Nível Máximo de Pressão Sonora [dB(A)]
Veículos de passageiros até nove lugares e veículo de uso misto derivado de automóvel	77 a 78
Veículo de passageiros com mais de nove lugares, veículo de carga ou de tração, veículo de uso misto não derivado de automóvel	78 a 80
Veículo de passageiro ou até de uso misto com peso bruto total maior que 3.500 kg	80 a 83
Veículo de carga ou de tração com peso bruto total acima de 3.500 kg	83 a 84

Fonte: Adaptado de BRASIL, (1993).

Este ensaio de emissão sonora é realizado para cada modelo de veículo, onde o mesmo deve estar em movimento acelerado para se obter o máximo nível de pressão sonora (BRASIL, 1993).

3.2. LEI MUNICIPAL Nº 10.625:2002 DA CIDADE DE CURITIBA

Esta lei trata do ruído urbano, proteção do bem estar e do sossego público. O artigo 1º destaca que é proibido se utilizar de sons, ruídos e vibrações que causem incômodo de qualquer natureza ou que ultrapassem os limites fixados nesta lei (Tabela 1). No artigo 2º, destaca-se que o período de medição diurno, inicia-se às 07h e 1min e conclui-se às 19 h, vespertino, das 19 h e 1 min às 22 h e noturno das 22 h e 1 min às 07 h. Por fim, estabelece que o ensaio de medição deve ser feito de acordo com a norma da ABNT NBR 10.151:2000.

Tabela 1 – Valor máximo de referência para níveis equivalentes de pressão sonora (L_{eq}) de acordo com a Área de Zoneamento e de uso do solo da cidade de Curitiba

Zonas de uso	Valores de Referência		
	L_{eq} Diurno [dB(A)]	L_{eq} Vespertino [dB(A)]	L_{eq} Noturno [dB(A)]
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA – SARU, APA – SMRU	55	50	45
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZUC-II, ZT-MF, ZT – NC, ZE-E, ZE-M, ZOO, SE-CC, SE-OS, SE- OI, APA – ST, ZR-4, ZC, ZT-BR-116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF,	60	55	50
SE-WB, SE-AC, SE-CB, CONEC, SE-PE, SC SF, SC-UM, SE-NC, SEHIS, SE-LE, SEVC-PASSÚNA, SEVS – PASSAÚNA, APA – SS, Vias prioritárias 1 e 2, Vias Setoriais, Vias coletoras 1, 2 e 3	60	55	50
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, ZEI-I (CIC), APA- SUE	70	60	60

Fonte: Adaptado de LEI MUNICIPAL Nº 10.625:2002

4. ÁREAS DE ESTUDO

A busca das Estações-Tubo da cidade de Curitiba foi realizada com o uso do site <www.google.com.br/maps>. A busca foi realizada com as palavras-chave “Curitiba” e “Estação-Tubo”, sendo identificadas 357 Estações - Tubo de Curitiba e sua região metropolitana. Posteriormente, os pontos de medição foram associados às informações do mapa de zoneamento e uso do solo, anexo da “Lei nº 9.800 de 03 de janeiro de 2000” do município de Curitiba (Apêndice I). Foram escolhidas Estações - Tubo, como pontos de medição, para representar diferentes condições das áreas de zoneamento e das vias de tráfego (BARRIGON MORILLAS et al., 2002) (Figura 3):

Quando a área a ser estudada é pequena, a forma de varredura por grades regulares é conveniente. Geralmente esse método dispõe de pontos de medições a distâncias equivalentes, formando assim uma figura geométrica padrão. Entretanto, situações em que a área a ser investigada é muito vasta, a análise dos locais de medição com áreas definidas em leis ou normas se torna necessária. Desta maneira, este estudo formou uma configuração de grade irregular (LESTER, MALCHAIRE, THIERY, 1992; BROWN, LAM, 1987) de 54 diferentes pontos de medições intuitivamente espalhados pela cidade de Curitiba (Apêndice II), e seus respectivos limites críticos definidos na lei 10.625:2002.

Também foi considerada a factibilidade. Para este limite, foram escolhidas 54 Estações de tal forma pudessem ser avaliadas em boas condições climáticas, em horário diurno (compreendido entre 07 h e 1 min às 19 h), e realizadas em cerca de 30 dias, o que compreendeu os meses de julho e agosto de 2014.

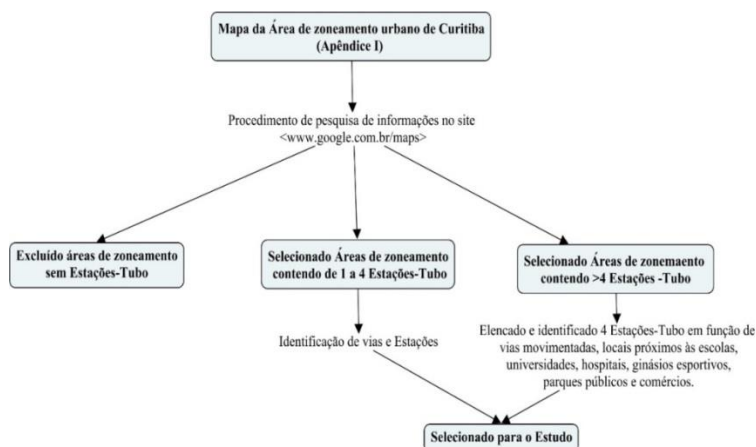


Figura 3 – Esquema do método de seleção das Estações - Tubo para o estudo

5. EQUIPAMENTO ACÚSTICO UTILIZADO E PROCEDIMENTO DE ENSAIO

O indicador e registrador acústico BK 2238 (classe I, Brüel e Kjaer, Dinamarca), com seu microfone BK4188, foi ajustado para leitura entre 30 dB(A) a 130 dB(A) para os registros dos níveis de pressão sonora em: LA_{\min} (menor valor registrado durante a gravação da medição), LA_{eq} (média equivalente de todos os valores registrados durante a gravação da medição) e LA_{\max} (maior valor registrado durante a gravação da medição). Outras configurações foram selecionadas, segundo a orientação da norma ABNT NBR 10.151:2000, sendo:

- Taxa de amostragem para o modo “fast” (varredura em 125 ms);
- Total de Intervalo de tempo de gravação das medições em 15 min, sendo este, considerado aceitável, quanto a tolerância de erro para comparações de limites críticos de ruídos (ZANNIN, SANT’ANA, 2011; MURPHY, KING, 2011; MILANEZ, 2013; ZANNIN et al., 2013).

Para satisfazer as orientações da ABNT NBR 10.151:2000 e as distintas características de edificação das Estações - Tubo no solo, algumas regras de instalação dos equipamentos de medição foram obedecidas (Figura 4), sendo possível a medição externa à Estação-Tubo e próximo a via de tráfego (Figura 5).

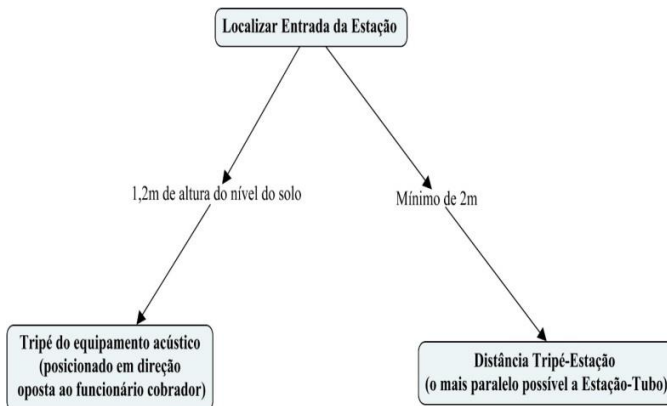


Figura 4 – Esquema do método de instalação do equipamento acústico

Os dados gravados no sistema data-logger foram manipulados no Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico LAAICA com uso do *software Noise Explorer Type 7815* da Brüel e Kjaer. Os valores de nível equivalente de pressão sonora

registrados foram aproximados ao número inteiro, como orienta a norma ABNT NBR 10.151:2000, e foram comparados aos níveis críticos estipulados pela Lei nº 10.625:2002 da prefeitura municipal de Curitiba (Tabela 1).



Figura 5 – Métodos de instalação para avaliações acústicas para todos os pontos de medição. a) Vista da parte externa a Estação-Tubo, próximo a via de tráfego. b) Vista da parte interna a Estação-Tubo, próximo a superfície cilíndrica da Estação-Tubo.

6. AVALIAÇÃO EMPÍRICA PRÓXIMA AS ESTAÇÕES - TUBO

Após a determinação dos pontos de medições, foi organizada uma avaliação pessoal empírica dos locais de medições, sendo realizadas na mesma data das medições e observadas características auditivas do ambiente quanto ao ruído e comparadas com a percepção visual das vias de tráfego e das Estações - Tubo.

Para associar as condições subjetivas de aceitação das Estações-Tubo próximo as vias de tráfego, utiliza-se os critérios do *Department of Housing in Urban Development*, do HUD/USA (2011), considerando-se os níveis equivalentes LA_{eq} registrados e comparando-os aos níveis críticos do Quadro 1.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. NÍVEIS EQUIVALENTES DE IMISSÃO SONORA

A avaliação que define se o ambiente é poluído acusticamente ou não, ocorre pelo cálculo do valor sobre-excedente aos níveis de referência da Lei nº 10.625:2002 da cidade

de Curitiba. A não conformidade será do ponto de medição que tiver um valor sobre-excedente de ruído, maior que zero. Portanto, poluído acusticamente (Figura 6).

O ponto de medição PM48 (SE-CB), próximo à Estação–Tubo Antônio Meireles Sobrinho, foi o único local em que o valor de nível equivalente de pressão sonora foi igual ao da referência a Lei municipal 10.625:2002 (Figura 6). Mais de 74% dos 54 pontos monitorados apresentaram valores entre 70 dB(A) a 76 dB(A), o que é compatível com a média global de 73 dB(A). Este valor é similar ao valor de 74 dB(A) relatado previamente (CALIXTO, DINIZ, ZANNIN, 2003) sobre poluição sonora em áreas de zonas residenciais (ZR) e zonas comerciais (ZS) da cidade de Curitiba, sendo que o principal emissor de ruído foi atribuído às vias urbanas. Ainda, em outra avaliação prévia (ZANNIN, 2002), cerca de 80,6% de 350 pontos monitorados apresentavam níveis sonoros equivalentes superiores a 65 dB (A) próximas a zonas residenciais de Curitiba. Mesmo em locais urbanos diversos, há relatos de níveis nocivos de ruído. Por exemplo, 93,3% de 1000 ambientes urbanos tiveram níveis equivalente de ruído acima de 65 dB(A), lembrando que este é o limiar preconizado pela medicina preventiva da OMS (BELOJEVIC, JAKOVLJEVIC, 1997). Ainda, 40,3% dos locais avaliados durante o dia, apresentaram valores superiores a 75 dB (A).

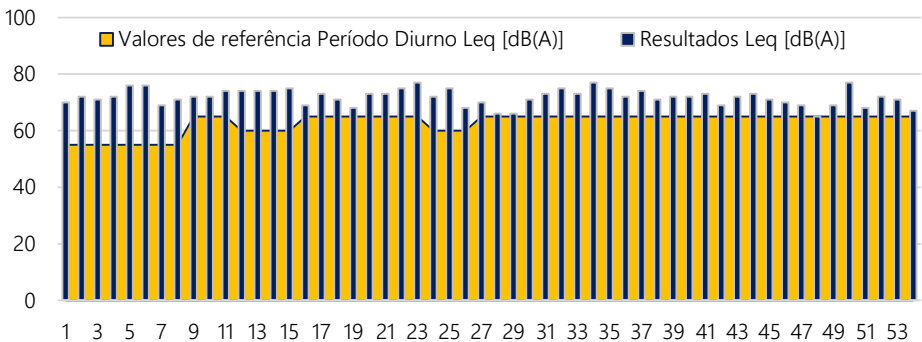


Figura 6 – Avaliação de conformidade para a Lei nº 10.625:2002 (linha) em ambientes próximos às Estações - Tubo com base nos níveis equivalentes de pressão sonora (L_{eq} dB(A), barras).

7.2. NÍVEIS MÍNIMOS DE IMISSÃO SONORA

Os menores valores de pressão acústica dos PMs, ou níveis mínimos (L_{Amin}), foram algumas vezes superiores aos valores de referência (L_{Aeq}), o que confirma o quadro crítico de poluição identificado (Figura 7). Isto é reforçado comparando a média global dos L_{min} , 55 dB(A), que é igual ao de alguns limites críticos definidos na lei 10.625:2002. Cerca de 37% dos locais avaliados tiveram valores L_{min} superiores a 55 dB(A), o que segundo a

Organização Mundial da Saúde (BRAUBACH, JACOBS, ORMANDY, 2011) é uma condição para ocorrências de estresse. Na região mais central da cidade, o ponto 24 (Estação-Tubo Passeio Público), considerada área verde, alcançou o segundo maior valor de L_{min} . Isto já havia sido relatado anteriormente (ZANNIN, FERREIRA, SZEREMETTA, 2006) e foi atribuído ao ruído de tráfego das vias circunvizinhas.

Os LA_{min} de locais distantes até 2 km do marco zero da cidade de Curitiba, que é a Praça Tiradentes, possuem em média (Tabela 2) valores mais elevados do que os dos locais da periferia da cidade. Assim, bairros Centro e Centro Cívico, onde é permitido pela Lei nº 9.800:2000 a construção de diversos andares para uma edificação, apresentam arranha-céus que funcionam como verdadeiras barreiras acústicas para as vias de tráfego (MURGEL, 2007; MURPHY, KING, 2011). Assim, é provável que haja reflexão do som nos edifícios, oriundo de vias de tráfego e outras fontes da área, de modo a aumentar o LA_{min} da região central da cidade.

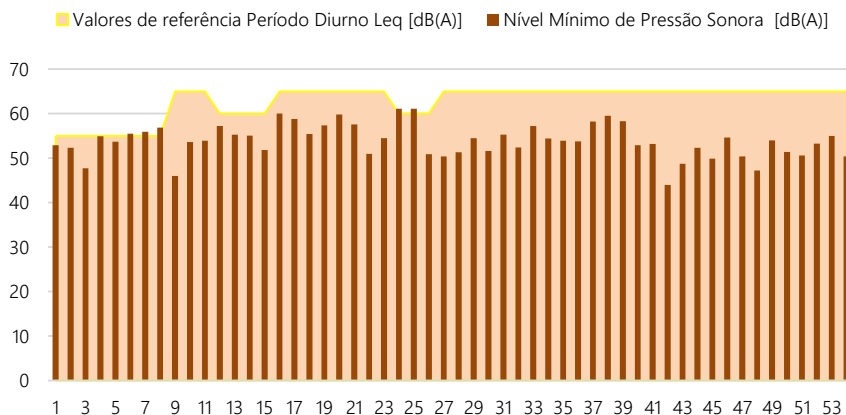


Figura 7 – Imissões sonoras mínimas (barras) nos pontos de medidas próximos às Estações - Tubo e os limites equivalentes críticos previstas pela Lei nº 10.625:2002 (linha)

Tabela 2 - Média dos níveis mínimos de pressão sonora em estações próximas a área central e periférica da cidade de Curitiba

Raio do ponto de medição ao marco zero da cidade de Curitiba (km)	Média dos valores de Níveis Mínimos de Pressão Sonora [dB(A)]
< 2	59
> 2	54

7.3. NÍVEIS MÁXIMOS DE IMISSÃO SONORA

Os locais mais preocupantes foram as Estações – Tubo Coronel Luiz José dos Santos (PM41) e Coqueiros (PM50), que obtiveram $L_{máx}$ de aproximadamente 100 dB(A), sendo que a Organização Mundial da Saúde (BRAUBACH, JACOBS, ORMANDY, 2011) relata que comunidades que convivam com níveis de ruídos a partir de 100 dB(A) entram no estágio inicial de perda da audição.

Convém lembrar que os níveis máximos não podem ser utilizados para levar a uma conclusão a respeito dos limites críticos da Lei Municipal nº 10.625:2002, entretanto pode se associar os elevados valores de nível máximo de pressão sonora registrados à falta de manutenção dos veículos, fazendo com que o nível de ruído derive no tempo acima dos valores especificados de fábrica (ALVES FILHO, LENZI, ZANNIN, 2004).

Por exemplo, a média global para os maiores valores registrados (Figura 8), os dados de níveis máximos de pressão sonora $L_{máx}$, foi de 94 dB(A), sendo a faixa de valores registrados de 81,6 a 100,1 dB(A). Há grande discrepância entre os valores máximos emissivos de veículos que saem das fábricas brasileiras em comparação a esses registrados de $L_{Amáx}$ deste estudo (Quadro 2). Ainda que nessa avaliação sejam desconsiderados fatores de amplificação e de atenuação sonora com a distância, podemos atribuir os níveis de ruídos elevados dos veículos à má manutenção da frota, e a não-padronização da posição do sistema de escape, além de maus hábitos dos motoristas como: o uso indevido de buzinas, freios e acelerações desnecessárias nas regiões urbanas (ALVES FILHO, LENZI, ZANNIN, 2004; BRASIL, 1993; CAN et al, 2010).

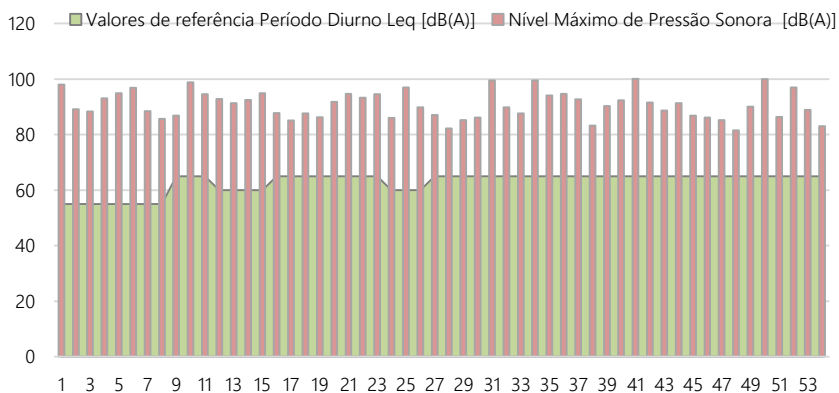


Figura 8 – Resultados de imissões sonoras máximas e os limites equivalentes críticos da Lei nº 10.625:2002, em ambientes próximos às Estações - Tubo

7.4. AVALIAÇÕES EMPÍRICAS DOS LOCAIS DE MEDIÇÕES

Nos pontos de medições avaliados, a grande maioria das Estações – Tubo possuem entrada e saída em locais distintos. Entretanto, nas Estações - Tubo da Linha Expressa Direta Linha Verde, a entrada e saída de todos os passageiros incluindo os portadores de necessidades especiais são feitas no mesmo local com uso de uma rampa inclinada de acesso. Em algumas ocasiões dependendo da demanda do transporte, o número de passageiros extrapola a capacidade máxima nos horários de pico. As crianças, mulheres grávidas, deficientes e idosos sofrem muito (BOREKI, 2010), tendo que aguardar no lado de fora da Estação–Tubo (Figura 9).



Figura 9 – Usuários fora da Estação - Tubo em horário de pico de demanda por transporte
Fonte: BOREKI, 2010.

No cotidiano urbano, as pessoas acostumam ou podem acostumar-se com o ruído e não percebem os efeitos danosos à saúde devido aos elevados níveis que estão expostos (YORG, ZANNIN, 2003). No presente estudo, alguns fatores podem diminuir a percepção dos níveis de pressão sonora elevados próximo as Estações–Tubo, como:

- O pouco período em que a população permanece no lado de fora das Estações, embora eventualmente possa ocorrer (Figura 9);
- O mascaramento do som ruidoso (SZEREMETA, 2007) pelos hábitos de uso de fone de ouvido e de fechar as janelas de residências ou escritórios.

A entrada da Estação-Tubo fica geralmente muito próximo da via de tráfego. Assim, o ruído emitido pelo ônibus do sistema, ou por veículos leves e pesados, incomodam diretamente aos usuários e os transeuntes. O Ruído de Impacto Mecânico gerado pela movimentação e acoplamento da rampa de embarque e desembarque também contribui negativamente para a qualidade sonora. Por outro lado, existem Estações-Tubo, por exemplo, PM26 (Centro-Cívico, Figura 10), que possuem entrada bem distante da via de tráfego e com calçadas bem planejadas.

A avaliação por percepção empírica é útil para compreender a diferença de níveis equivalente de pressão sonora (LA_{eq}) para pontos de medições localizados em uma mesma via (Tabela 3). Isto se deve, por exemplo, pelas distâncias dos pontos de medições e as vias de tráfego diferentes. É o caso de algumas Estações avaliadas e que estão em mesma via de tráfego.



Figura 10 – Espaço amplo do entorno, próximo ao ponto de medição PM26, no Setor Especial Centro Cívico

Ainda, os locais com LA_{eq} menos elevados, como as Estações – Tubo Detran (PM22), Fanny (PM39) e Osternack (PM54), possuem aproximadamente metade da pressão sonora do entorno de outros PMs da mesma via. Esta diferença também pode estar relacionada ao espaço que separa as vias de tráfego às Estações-Tubo. Por exemplo, o ruído para as fontes lineares como as vias de tráfego, é atenuado em 3 dB para cada vez que é duplicada a distância da via ao ouvinte (KINSLER et al., 1982; GRIFFITHS, LANGDON, 1968).

Tabela 3 – Diferença de níveis equivalentes de pressão sonora Leq(A), em pontos de medições numa mesma via de tráfego

Pontos de Medições (PM)	Nome da via de Tráfego	Posição da medição em coordenadas geográficas	Diferença Absoluta de LA _{eq} [dB(A)]
23 e 22	Avenida Victor Ferreira do Amaral	25°25'43.3"S; 49°13'30.6"W e 25°25'48.8"S; 49°12'40.5"W	2,7
37 e 39	Linha Verde	25°28'07.6"S; 49°15'14.4"W e 25°29'47.4"S; 49°16'34.1"W	3,4
53 e 54	Rua Tijucas do Sul	25°32'39.6"S; 49°15'56.8"W e 25°33'10.4"S; 49°15'03.4"W	3,3

As vias exclusivas e de canaletas exclusivas possuem menores imissões de ruído quando comparadas com as vias compartilhadas e faixas exclusivas. Nessas primeiramente citadas, os ônibus BRT estão mais distantes de outros veículos, que casualmente transitam nas vias públicas, dando uma maior sensação de segurança quando ao acesso a Estação–Tubo, o que também reduz as fontes sonoras de outros tipos de veículos, e em consequência reduz o L_{eq} (Tabela 4). Esse resultado é coerente com o estudo de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, que demonstrou que havia uma relação direta do ruído de tráfego com o número de veículos presentes no momento das medições. Os locais de medição onde foram registrados os menores níveis de pressão sonora foram os locais onde os pontos de medições estavam mais afastados das vias de distribuição de tráfego veicular (MAIA, 2003).

Tabela 4 – Média dos Níveis Equivalentes de Pressão Sonora em função das vias de transporte dos ônibus BRT

Tipo de via de Transporte	Média dos Níveis de Imissões Equivalentes Leq(A)
Canaletas	72
Vias Exclusivas	71
Faixas Exclusivas	74
Vias Compartilhadas	73

7.5. ESTIMATIVA DE INCÔMODO AO RUÍDO

Aplicando os critérios de níveis de ruído (Quadro 1) do *U.S. Department of Housing in Urban Development* - HUD aos resultados de L_{eq} dB(A) (Figura 6), se obtém os seguintes resultados referente às condições para a habitação humana:

- 2% dos locais avaliados são aceitáveis;
- 9% como inaceitáveis;
- 89% como geralmente inaceitáveis.

Segundo o HUD, todos os pontos da via de tráfego na linha verde (SE-BR116) seriam inaceitáveis, ou seja, as Estações – Tubo Marechal Floriano (PM37), Fanny (PM38) e Xaxim - Linha Verde (PM39). Este resultado reforça o estudo prévio que concluiu que condições acústicas ambiental da via de tráfego da Linha Verde (SE-BR116) são 100% inaceitáveis (PAZ, 2004).

Os critérios de avaliação do *Department of Housing in Urban Development* - HUD, demonstram o quanto os ambientes avaliados externamente às Estações - Tubo são impactados pelo ruído de tráfego rodoviário, pois são centros de aglomeração de pessoas.

7.5.1. REDUÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO A NÍVEIS RECOMENDADOS

A partir do estudo de medição objetiva do ruído e avaliação visual subjetiva do ambiente do entorno do PM na Estação-Tubo, algumas recomendações são consideradas (Quadro 3) para redução do ruído a níveis aceitáveis.

O nível elevado de ruído de tráfego identificado próximos as Estações - Tubo revelou que há necessidade urgente da gestão das fontes do ruído das vias de tráfego, sendo um grande problema político (ZANNIN et al., 2002; PASSCHIER, PASSCHIER-VERMEER, 2000). Toda prevenção ou controle do ruído exige vontade política e várias tomadas de decisões dos gestores. Além disso, recursos humanos e financeiros são necessários na medida certa (CONCHA-BARRIENTOS, CAMPBELL-LENDRUN, STEENLAND, 2012).

O Investimento financeiro em novos ônibus BRT também contribui com a redução dos níveis de ruídos excessivos. A aquisição de novos ônibus BRT trará a vantagem de um maior conforto ao usuário, e assim, juntamente com a agilidade do sistema de vias exclusivas atrairá novos usuários que hoje estão insatisfeitos. A opção do usuário de deixar o carro em casa e utilizar o sistema de transporte de ônibus BRT reduzirá a poluição sonora automotiva de veículos leves, pois esta é proporcional ao número de veículos (Figura 11).

Quadro 3 – Formas de redução dos níveis de ruído para a condição aceitável da norma HUD

Ação	Redução, dB(A)	Fonte
Utilizar pavimentos menos ruidosos, como betume com borracha	6 a 8 (LA_{eq})	(MILANEZ, 2013)
Limitar a velocidade em 30 km.h^{-1} nas regiões poluídas acusticamente	5 (LA_{eq}) e 7 ($LA_{máx}$)	(MATOS et al., 2011; ANSAY, 2013)
Dobrar a distância padrão das Estações – Tubo para as vias periféricas sempre que possível	Contribuem com redução do excesso de ruído (Tabela 3)	(KINSLER et al., 1982; GRIFFITHS, LANGDON, 1968)
Limitar o acesso de automóveis e definir vias de único sentido	5 (LA_{eq})	(BARRIGON MORILLAS et al., 2002)
Dar preferência a criação de vias exclusivas	Contribuem com redução do excesso de ruído (Tabela 4)	(CALIXTO, DINIZ, ZANNIN, 2003)
Monitoramento e avaliação dos níveis de ruído por parte da secretaria de meio ambiente de Curitiba	Contribuem com redução do excesso de ruído (Tabela 4)	(STANSFELD, 2003)
Identificação das principais áreas poluídas acusticamente, e acesso a informação para que a população evite áreas ruidosas	Contribuem com redução do excesso de ruído (Tabela 3)	(ZANNIN et al, 2002)
Previsão estatística da evolução temporal do ruído em vias e áreas de zoneamento através de mapeamento acústico	Contribuem com redução do excesso de ruído (Tabela 4)	(ZANNIN, SANT'ANA, 2011)



Figura 11 – Relação de ocupação de ônibus e carros por pessoas
Fonte: URBS, (2014)

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Estações - Tubo estão próximas a parques, residências, comércios, escolas, universidades e hospitais, são regiões densamente povoadas e sujeitas ao ruído. As pessoas que utilizam as Estações – Tubo, adentrando ou não por superlotação, ou ainda que transitem nas suas proximidades são afetadas pelo tráfego adjacente de veículos. Assim, as Estações - Tubo foram bons pontos de referência para avaliação de ruído de tráfego urbano.

Somente o ponto de medição (PM48), próximo à Estação–Tubo Antônio Meireles Sobrinho (SE - CB), não é poluído acusticamente, sendo que apresentou exatamente o valor limite de 65 dB(A).

Recomendam-se ações políticas que promovam a educação ambiental, a conscientização pública e a preservação do meio ambiente, como se segue:

- Campanhas educacionais nas escolas para crianças sobre o que é o ruído e seus danos à saúde, pois a poluição sonora e seu dano à saúde humana não é conhecida;
- Programa de incentivo financeiro a produtos inovadores que atenuem o ruído e principalmente de veículos automotores que emitam menos ruído, sendo que o tipo de veículo é relevante;
- Fiscalização das leis atuais, para que proprietários de veículos os tenham em boa manutenção e com níveis de ruído aceitáveis, pois o ruído gerado é diretamente proporcional ao envelhecimento do veículo, mas pode se minimizado;
- Com a proximidade da população em vias urbanas próximas as Estações BRT, faz-se necessário a criação de Lei ou normatização em nível federal que unifique os níveis de referência de ruído em vias urbanas utilizadas pelo sistema BRT em áreas de zoneamento e uso do solo das cidades;
- Cobrar o mapeamento acústico no estudo prévio de impacto de vizinhança (EIV) e exigir avaliação ambiental de todas as propostas de projetos de transportes que possam aumentar os níveis de ruído.

O atual modelo de monitoramento e a fiscalização do ruído ambiental, constituído de Leis federais, estaduais, municipais e normas regulamentadoras, não contemplam a estrutura viária para ônibus BRT criado no Brasil. Entende-se que este problema de gestão ambiental deve ser resolvido pelo poder público, e junto com a sociedade unir forças para combater este problema ambiental, que aflige a população e o seu ambiente urbano.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES FILHO, J. M.; LENZI, A.; ZANNIN, P. H. T. Effects of traffic composition on road noise: a case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, Elsevier* v. 9, n. 1, p. 75–80, 2004.
- ANSAY, S. S. *Estudo da Poluição Sonora através do mapa de ruído na implantação do novo campus universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.151: Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade*. Rio de Janeiro, p. 1-4, 2000.
- BARRIGON MORILLAS, J. M.; GOMEZ ESCOBAR, V.; MENDEZ SIERRA, J. A.; VILCHEZ GOMEZ, R.; TRUJILLO CARMONA, J. An environmental noise study in the city of Caceres, Spain. *Applied Acoustics*, v. 63, n. 10, p. 1061–1070, 2002.
- BELOJEVIC, G.; JAKOVljeVIC, B. Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits. *Archives of Environment International*, v. 23, n. 2, p. 221–226, 1997.
- BELOJEVIC, G.; KIM, R.; KEPHALOPOULOS, S. Assessment of needs for capacity-building for health risk assessment of environmental noise: case studies. *European Commission Joint Research Centre*, p. 1–50, 2012.
- BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. H. New WHO guidelines for community noise. *Noise & Vibration Worldwide*, v. 31, n. 4, p. 24–29, 2000.
- BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. 1st ed. 2006.
- BOREKI, V. Atrasos em horários de pico provocam fila e irritam passageiros. *Gazeta do Povo*, Curitiba, 27 jun. 2010, Caderno Vida e Cidadania, p. 1.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução CONAMA N° 08, de 31/08/1993*. Complementa a Resolução n° 018/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE.
- BRAUBACH, M.; JACOBS, D. E.; ORMANDY, D. *Environmental burden of disease associated with inadequate housing. Summary report*. 2011.
- BROWN, A. L.; LAM, K. C. Urban noise surveys. *Applied Acoustics*, v. 20, n. 1, p. 23–39, 1987.
- BUS RAPID TRASIT (BRT). *Portal da Informação*: A evolução dos ônibus BRT. Curitiba, 2014 em: < <http://brtbrasil.org.br> >. Acesso: 27 mai. 2014.
- CAN, A.; LECLERCQ, L.; LELONG, J.; BOTTELDOOREN, D. Traffic noise spectrum analysis: dynamic modeling vs. experimental observations. *Applied Acoustics*, v71, pgs. 764-770, agosto de 2010

CALIXTO, A.; DINIZ, F. B.; ZANNIN, P. H. T. The statistical modeling of road traffic noise in an urban setting. *Eusevier*, v. 20, n. 1, p. 23–29, 2003.

CONCHA-BARRIENTOS, M.; CAMPBELL-LENDRUM, D.; STEENLAND, K. Occupational noise. *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*, v. 54, n. 1, p. 106–8, 2012.

CURITIBA. Lei nº 9800. *Legislação Municipal da Prefeitura Municipal de Curitiba*. Camara Municipal de Curitiba, Curitiba, 2000.

CURITIBA. Lei nº 10.625. *Legislação Municipal da Prefeitura Municipal de Curitiba*. Camara Municipal de Curitiba, Curitiba, p.1–11, 2002.

CURITIBA. Prefeitura de Curitiba. *Portal da Informação: A história da cidade de Curitiba*. Curitiba, 2014 em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br>>. Acesso: 16 jun. 2014.

DEPARTMENT OF HOUSING IN URBAN DEVELOPMENT. *HUD/USA: Noise Abatement and Control. Noise Guidebook for specific guidance*. p.1–2, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). *Portal da Informação: Relatórios Estatísticos Frota de Veículos*. Curitiba, 2014 em: <<http://www.denatran.gov.br/estatistica/237-frota-veiculos>>. Acesso: 27 mai. 2014.

DOBIE, R. A. Prevention of noise-induced hearing loss. *Archives of otolaryngology--head & neck surgery*, v. 121, n. 4, p. 385–91, 1995.

FERNANDO, L.; ROCHA, C. *Gestão pública do mobiliário urbano*. ,2005.

FIEDLER, P.E.K.; ZANNIN, P. H. T.. *Noise mapping as a tool for urban planning. Journal of Scientific & Industrial Research (1963)*, v.74, p. 114-116, 2015.

GRIFFITHS, I. D.; LANGDON, F. J. Subjective response to road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 1968.

HELLMUTH, T.; CLASSEN, T.; KIM, R.; KEPHALOPOULOS, S. Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise. *European Commission Joint Research Centre*, 2012.

JUNGLES, A.; FRUTUOSO, A.; NEOTTI, G.; FERNANDES, L. Estudo ergonômico aplicado a um posto de trabalho : cobradores de ônibus de estações-tubo de Curitiba. *Projética*, p. 239–248, 2013.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SANDERS, J. V. *Fundamentals of Acoustics*. 3rd ed. Monterey, 1982.

LESTER, H.; MALCHAIRE, J.; THIERY, H. S. A.. *Strategies for noise surveys*.1992.

MAIA, M. A. L. *Contribuição ao mapeamento do ruído urbano na cidade de Porto Alegre - RS*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MATOS, J.; FRADIQUE, J.; TAVARES, L.; GUEDES, M.; LEITE, M. J. *Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996*. In: A. P. do Ambiente (Ed.); *Guia prático para medições de ruído ambiente*. Lisboa, 2011.

MURPHY, E.; KING E. A.. Scenario analysis and noise action planning: Modelling the impact of mitigation measures on population exposure. *Applied Acoustic*, v. 72, p. 487-494, 2011.

MILANEZ, M. L. *Análise do impacto ambiental sonoro com a implantação do trecho norte da linha verde em Curitiba*, Dissertação (Mestrado em Engenharia em Engenharia Ambiental), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MOURA, R. O Turismo no Projeto de Internacionalização da Imagem de Curitiba. *Turismo-Visão e Ação*, v. 9, p. 341-357, 2007.

MURGEL, E. *Fundamentos de Acústica Ambiental*. São Paulo, 2007.

PASSCHIER, W. F; PASSCHIER-VERMEER, W.. Noise exposure and public health. *Environmental health perspectives*, v. 108 Suppl , n. 6, p. 123-31, 2000.

PAZ, E. C. *Estudo de um modelo de avaliação e previsão acústica para o ruído de tráfego*. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PAZ, E. C.; ZANNIN, P. H. T. Avaliação da poluição sonora no campus III - Campus Centro Politécnico e Campus Jardim Botânico - da Universidade Federal do Paraná - Curitiba-PR. Evaluation of noise pollution on Campus III- Polytechnic Center Campus and Botanic Garden Campus - UFPR (Periódico QUALIS 'A2' Geografia, 'B1' Interdisciplinar, 'B2' Ciências Ambientais). *Revista RAEGA*, v. 26, p. 5-34, 2012.

SOARES, P.; RIBEIRO, R.; SANTOS, G.A.; CONSTANTINI, A.; ZANNIN, P. H. T.. Análise espectral do ruído no entorno do campus centro politécnico da universidade federal do paraná - Spectral analysis of noise around the polytechnic center campus of the federal university of paraná - UFPR (Periódico QUALIS 'A2' Geografia, 'B1' Interdisciplinar, 'B2' Ciências Ambientais). *Revista RAEGA*, UFPR, V.32, p. 73-94, 2014.

SOBOTOVÁ, L.; JURKOVICOVÁ, J.; VOLEKOVÁ, J.; AGHOVÁ, L. Community noise annoyance risk in two surveys. *International journal of occupational medicine and environmental health*, v. 14, n. 2, p. 197-200, 2001.

STANSFELD, S. A. Noise pollution: non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, v. 68, n. 1, p. 243-257, 2003.

SZEREMETA, B. *Avaliação e percepção da paisagem sonora de parques públicos de Curitiba - PR*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA (URBS). *Portal da Informação: A história do transporte público de Curitiba*. Curitiba, 2014 em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br>>. Acesso: 23 mai. 2014.

YORG, C. M.; ZANNIN, P. H. T. Noise evaluation in the Itaipu Binacional Hydroelectric Power, Between Brazil and Paraguay. In: *27º International Congress on Occupational Health, 2003*. Iguassu Falls. vol. 1.

ZANNIN, P. H. T.; A. Urban Noise Pollution in Residential Areas of the City of Curitiba, Brazil. In: *World Health Organization-Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health*, 2002.

ZANNIN, P. H. T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F. B.; FERREIRA, J. A.. A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: The importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 23, n. 2, p. 245–255, 2003.

ZANNIN, P. H. T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F. B.; AUGUSTO, J. A.. Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba , PR. Annoyance caused by urban noise to the citizens of Curitiba , Brazil. *Revista Saúde Pública*, v. 36, n. 4, p. 521–524, 2002.

ZANNIN, P. H. T.; FERREIRA, A.M.C.; SZEREMETA, B. Evaluation of the noise pollution in urban parks of Curitiba. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 118, p. 423-433, 2006.

ZANNIN, P. H. T.; SANT'ANA, D. Q.. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project - A case study in Brazil. *Applied Acoustics*, v. 72, n. 8, p. 479–486, 2011.

ZANNIN P. H. T.; ENGEL M.; FIEDLER; PEK; BUNN, F. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. *Elsevier* v. 31, n. 1, p. 317–327, 2013.

11. APÊNDICE II – VALORES REFERÊNCIA DIURNO DA LEI 10.625:2002 EM FUNÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÕES (PM) E OS RESPECTIVOS DADOS BRUTOS REGISTRADOS PARA LAMÍN, LAEQ E LAMÁX.

PM	PM em coordenadas geográficas	Limite LAeq [dB(A)]	LAmín [dB(A)]	LAeq [dB(A)]	LAmáx [dB(A)]
1	25°25'43.0"S 49°17'16.6"W	55	52,9	69,5	98,0
2	25°25'32.2"S 49°14'32.7"W	55	52,3	72,5	89,2
3	25°30'44.7"S 49°16'48.5"W	55	47,7	71,2	88,3
4	25°31'28.3"S 49°14'51.3"W	55	54,9	72,5	93,1
5	25°29'46.7"S 49°16'13.4"W	55	53,7	75,9	94,9
6	25°27'19.4"S 49°16'03.4"W	55	55,5	75,9	96,9
7	25°27'31.8"S 49°18'08.9"W	55	55,9	68,9	88,5
8	25°26'52.5"S 49°15'29.1"W	55	56,9	71,3	85,7
9	25°25'44.7"S 49°15'30.5"W	65	46,0	71,6	86,9
10	25°25'09.2"S 49°15'52.5"W	65	53,6	72,4	98,8
11	25°26'16.3"S 49°14'19.8"W	65	53,9	74,4	94,6
12	25°30'24.9"S 49°14'04.9"W	60	57,2	73,5	92,9
13	25°27'07.5"S 49°13'47.7"W	60	55,3	73,8	91,3
14	25°26'38.0"S 49°14'23.9"W	60	55,1	73,8	92,5
15	25°27'08.9"S 49°15'10.3"W	60	51,8	75,4	94,9
16	25°25'37.3"S 49°15'53.2"W	55	60,0	69,2	87,8
17	25°26'09.2"S 49°16'29.8"W	55	58,8	73,2	85,1
18	25°26'08.1"S 49°16'29.7"W	55	55,4	71,0	87,6
19	25°25'45.6"S 49°16'19.0"W	55	57,4	68,0	86,3
20	25°25'42.4"S 49°16'22.2"W	55	59,8	73,4	91,8
21	25°25'41.7"S 49°16'19.7"W	55	57,6	72,9	94,7
22	25°25'48.8"S 49°12'40.5"W	55	51,0	74,7	93,3
23	25°25'43.3"S 49°13'30.6"W	55	54,5	77,4	94,6
24	25°25'24.9"S 49°16'06.0"W	65	61,1	72,3	86,0
25	25°25'10.2"S 49°16'08.9"W	65	61,1	75,3	97,0
26	25°24'54.7"S 49°16'04.8"W	65	50,9	68,2	89,8
27	25°26'14.2"S 49°19'27.6"W	60	50,4	70,2	87,1
28	25°26'26.4"S 49°20'32.9"W	60	51,3	65,7	82,2
29	25°26'57.5"S 49°21'14.1"W	60	54,5	66,4	85,2
30	25°29'03.1"S 49°17'37.1"W	60	51,6	71,2	86,1
31	25°26'12.4"S 49°14'37.2"W	55	55,3	72,7	99,5
32	25°26'25.7"S 49°14'12.2"W	55	52,4	74,8	89,9
33	25°26'19.2"S 49°16'05.3"W	55	57,2	72,9	87,7

34	25°28'19.9"S 49°15'52.0"W	55	54,4	76,6	99,5
35	25°28'34.6"S 49°16'48.4"W	55	53,9	74,9	94,1
36	25°28'37.6"S 49°17'06.2"W	55	53,8	72,2	94,7
37	25°28'07.6"S 49°15'14.4"W	55	58,2	74,2	92,7
38	25°28'28.6"S 49°15'31.0"W	55	59,5	70,8	83,3
39	25°29'47.4"S 49°16'34.1"W	65	58,3	72,3	90,3
40	25°27'06.6"S 49°15'41.6"W	65	52,9	72,2	92,4
41	25°29'41.8"S 49°14'26.2"W	65	53,2	73,3	100,1
42	25°24'37.0"S 49°14'53.9"W	60	44,0	68,7	91,6
43	25°26'29.3"S 49°13'50.6"W	60	48,7	71,6	88,7
44	25°26'30.4"S 49°13'03.6"W	60	52,3	73,2	91,3
45	25°26'18.9"S 49°13'35.1"W	60	49,9	70,9	86,9
46	25°27'52.9"S 49°12'35.5"W	65	54,6	69,8	86,1
47	25°27'36.4"S 49°12'42.5"W	65	50,4	69,0	85,2
48	25°26'48.4"S 49°13'00.8"W	65	47,2	65,0	81,6
49	25°31'51.0"S 49°15'20.5"W	65	54,0	69,2	90,1
50	25°31'56.5"S 49°15'42.6"W	65	51,4	76,7	100,0
51	25°32'07.7"S 49°16'28.1"W	65	50,6	68,3	86,4
52	25°32'50.4"S 49°15'36.7"W	65	53,3	71,7	97,0
53	25°32'39.6"S 49°15'56.8"W	65	55,0	70,7	88,9
54	25°33'10.4"S 49°15'03.4"W	65	50,4	67,4	83,0

O valor destacado em negrito obedece a Lei 10.625:2002.

SOBRE AS ORGANIZADORAS

Marielle Feilstrecker

Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (2006), especialização em Qualidade e Produtividade (1998) e Gerenciamento Ambiental na indústria (2003) e graduação em Engenharia de Alimentos pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (1995). Atuou como docente por 11 anos no SENAI-PR e na Faculdade de Tecnologia Senai CIC. Desde 2009 atua como docente no Mestrado Profissional Meio Ambiente Urbano e Industrial da UFPR, Senai e Universidade Stuttgart. Atua nas áreas de gestão ambiental, prevenção da poluição, minimização de resíduos e desenvolvimento sustentável.

E-mail de contato: mariellefr@hotmail.com

Mônica Beatriz Kolichski

Engenheira Química (1992), mestre em Tecnologia Química - PPGEAL (1995) e doutora em Engenharia - PIPE (2006) pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atuou como professora na Pontifícia Universidade Católica do Paraná, de 1997 a 2010. Atualmente é professora associada da Universidade Federal do Paraná, sendo docente do curso de Engenharia Química de do Mestrado profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI). Tem experiência na área de Engenharia das Reações Químicas, desenvolvendo estudos sobre síntese de terpenos, tecnologias para a prevenção e controle da poluição e, mais recentemente, modelagem de poluentes atmosféricos.

E-mail de contato: monica.beatriz@ufpr.br



SOBRE OS AUTORES

Alvaro Luiz Mathias

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Bioquímica pelo Departamento de Bioquímica da Universidade Federal do Paraná (UFPR) com ênfase em metabolismo e fisiologia de bactérias fixadoras de nitrogênio e Doutor em Engenharia Química pela Universidade do Porto (Portugal) com ênfase em valorização de resíduo industrial com produção de aditivo alimentar. Pós-doutoramento em Quimiometria para planejamento experimental e interpretação de Big Data pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e em Gerenciamento e Tratamento de Resíduos Sólidos pela Universidade de Stuttgart (Alemanha). Professor Titular da Universidade de Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Química do Setor de Tecnologia, Brasil. Professor Permanente do Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI).

Andreas Friedrich Grauer

Atuou por 7 anos como consultor exclusivo do Instituto Ambiental do Paraná, elaborou a legislação e normas sobre controle de poluição atmosférica (Resolução SEMA 016/14). Hoje continua assessorando o órgão ambiental do Estado do Paraná em questões atmosféricas. Atua atualmente como professor no Mestrado Internacional Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) e como consultor da empresa SIMILAR Controle de Emissões Atmosféricas, especializada em monitoramento de poluentes atmosféricos de processos industriais.



Arno Paulo Schmitz

Possui Graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Paraná (1998), Mestrado em Economia pela Universidade Federal da Bahia (2002) e Doutorado em Desenvolvimento Econômico pela UFPR (2014). Atualmente é professor na Universidade Federal do Paraná e pesquisador em grupos de pesquisa da Universidade Federal da Bahia e Universidade Federal do Paraná. Tem experiência na área de Economia, com ênfase em Economia Regional, Rural e do Meio Ambiente.

Daniela Neuffer

Engenheira Civil e pós-graduada em Engenharia Civil pela Universität Stuttgart, Alemanha. Doutora em Técnicas de Proteção Ambiental pela Universität Stuttgart. Atualmente é pesquisadora e consultora da Universität Stuttgart no Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Resíduos Sólidos, ISWA) na Universität Stuttgart e na empresa TTI GmbH. Coordenadora da Dupla Diplomação e professora do Programa de Pós Graduação - Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) da UFPR, Universität Stuttgart e SENAI-PR. Membro do comitê assessor AK-11.6 (Resíduos de óleo e graxas) da Deutsch Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Associação Alemã para Gerenciamento de Água, Águas Residuárias e Resíduos, DWA). Atua principalmente nos seguintes temas: tecnologias para tratamento de efluentes municipais e industriais, técnicas e tecnologias para abastecimento de água, reúso de água, tratamento e aproveitamento de lodo e resíduos, co-fermentação anaeróbica, geração e aproveitamento de biogás.



Geanesson Alberto de Oliveira Santos

Possui graduação em Física pela Universidade Federal do Paraná (2004). Desde 06/2006 atua como técnico em metrologia Física do Instituto de Tecnologia do Paraná, onde em 2014 reconhecido pelo INMETRO se tornou signatário autorizado para calibrações de sensores de Temperatura e Umidade Relativa segundo a NBR ISO/IEC 17025:2005. Em 04/2015 concluiu o curso de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial pelo PPGMAUI, através do convênio tripartite entre Universidade Federal do Paraná, SENAI e Universidade de Stuttgart.

Jéssica de Miranda Paulo

Mestre do Programa Internacional de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial da Universidade Federal do Paraná em parceria com o Senai-PR e a Universidade de Stuttgart, possui graduação em Engenharia Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2010) e pós graduação em Planejamento e Gestão de Negócios pela FAE Centro Universitário (2013). Atualmente é sócia administradora e responsável técnica da Sinergia Engenharia de Meio Ambiente. Tem experiência na área de Engenharia Ambiental atuando principalmente nos seguintes temas: estudo de impacto de vizinhança, meio ambiente na indústria, consumo sustentável, consumidor verde, resíduos sólidos, reaproveitamento, licenciamento, estudo de impactos e sustentabilidade.



Klaus Martin Fischer

Possui doutorado pela Universität Stuttgart, com experiência na área de Ciências Ambientais. Atuou na Universität Stuttgart como colaborador científico e depois passou para a chefia da área de trabalho de resíduos urbanos no Instituto para Construções Hidráulicas Urbanas, Gestão de Qualidade da Água e Gestão de Resíduos (ISWA), onde trabalha até hoje. É sócio na empresa "Reinluft Umwelttechnik GmbH" em Stuttgart (Planejamento de estações de tratamento de emissões atmosféricas), consultor na área de poluentes atmosféricos da indústria e emissões/imissões) e também é sócio na empresa "SEMI - Sustainable Environmental Management International GmbH" em Stuttgart. Dispõe de ampla experiência na área de gerenciamento de resíduos e de seu tratamento.

Margarete Casagrande Lass Erbe

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná (1979), mestrado em Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2001) e doutorado em Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná/ Universidade Técnica de Berlim/Alemanha (2011). É professora da Universidade Federal do Paraná no Departamento de Engenharia Química, professora do PPGMAUI - Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da UFPR, em parceria com o SENAI e Universidade de Stuttgart/Alemanha. Tem experiência na área de gestão, auditoria e licenciamento ambiental e em Engenharia de Produção, com ênfase em processos. Atua principalmente nas seguintes áreas: avaliação de passivos ambientais, micro poluentes, gestão ambiental, resíduo industrial, resíduo dos serviços de saúde, meio ambiente e coprocessamento.



Maria Emília Martins Ferreira

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (1995) com mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999). Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (2014).

Nícolas Lazzaretti Berhorst

Economista pela UFPR. Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR e Universitaet Stuttgart. Principais áreas de interesse e experiência profissional: geração de energia elétrica renovável, biogás, economia internacional, mercado de capitais, contabilidade e meio ambiente natural.

Patricia Accioly Calderari da Rosa

Graduada em Administração pela Fundação de Estudos Sociais do Paraná (2001), com especialização em Gestão em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (2002). Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI). Atua na área de sustentabilidade, assessorando organizações na aplicação de práticas de gestão, com destaque na condução de programas de desenvolvimento na cadeia de valor.



Patrícia Charvet

Graduação em Biologia (bacharelado e licenciatura) pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (1993), mestrado em Zoologia pelo convênio Museu Paraense Emílio Goeldi e Universidade Federal do Pará (2001) e doutorado em Ciências Biológicas (concentração em Zoologia) pela Universidade Federal da Paraíba (2006). Áreas principais de atuação: biologia e conservação de espécies, biodiversidade, meio ambiente e sustentabilidade. As principais linhas de pesquisa envolvem os seguintes temas: biologia, história natural e conservação de elasmobrânquios, espécies ameaçadas, manejo, pesca e sustentabilidade ambiental. Atuou No Senai de 2007 a 2018, nas Gerências de: Inovação, Serviços Tecnológicos e Inovação, Operações e Planejamento, Orçamento e Gestão Atualmente é docente colaboradora do Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI - UFPR).

Paulo Antonio do Vale Junior

Oceanógrafo (UFPR) - Habilitação em Gestão Ambiental Costeira. Engenheiro Ambiental (FAESP). Especialista em Educação, Meio Ambiente e Desenvolvimento (UFPR). Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela Universidade Federal do Paraná (2018). Técnico Sênior da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), lotado na Diretoria de Meio Ambiente (DMA) - Unidade de Recursos Hídricos (USHI), atuando na gestão dos recursos hídricos, com programas de despoluição de rios urbanos, gestão de mananciais e reservatórios de abastecimento público, balneabilidade e geoprocessamento.



Paulo Henrique Trombetta Zannin

Possui Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1985), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1990) e Doutorado em Acústica - pela Technische Universität Berlin - Institut für Technische Akustik (1996). Professor Titular da Universidade Federal do Paraná e Coordenador do LAAICA - Lab. de Acústica Ambiental - Industrial e Conforto Acústico - UFPR. Orienta trabalhos de Doutorado e Mestrado, sendo credenciado nos seguintes programas de pós-graduação: Programas de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental/UFPR, Prog. de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental/UFPR, Pós-Graduação em Educação Física e Esportes/UFPR e no PPGMAUI - Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, sendo este um convênio entre a UFPR, o SENAI e a Universidade de Stuttgart (Alemanha).

Regina Maria Matos Jorge

Professora Titular do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná. Possui doutorado (2000) e mestrado (1993) em Engenharia Química ambos pela Universidade de São Paulo e graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (1988). É Professor Permanente dos Programas de Pós Graduação: Mestrado e Doutorado em Engenharia de Alimentos, Mestrado em Engenharia Química e do Programa Internacional de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Processos de Engenharia de Alimentos, Processos Químicos, Reatores e Cinética de reações, Modelagem Matemática, Fenômenos de Transporte, propriedades físicas e termodinâmicas de materiais alimentícios.



Regina Weinschutz

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná (1986), mestrado em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal do Paraná (1992) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (1999). Tornou-se professora titular da Universidade Federal do Paraná em 2017. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Petróleo e Petroquímica, atuando principalmente na área de emulsões de petróleo e na área de recuperação de áreas contaminadas com petróleo e derivados. Atua também na área de celulose, principalmente na obtenção de fibras a partir de resíduos agrícolas. É docente do Mestrado profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial - MAUI, que é uma parceria UFPR/Universidade de Stuttgart/SENAI.

Rejane Afonso Pries

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná (2001). Atualmente é diretora - Monitore - Engenharia e Planejamento Ambiental. Tem especialização na área de engenharia ambiental pela Universidade Federal do Paraná, atuando principalmente nos seguintes temas: resíduos sólidos, educação ambiental, coprocessamento de resíduos, atendimento a requisitos legais, soluções e projetos ambientais, inventario de CO₂, licenciamentos, coprocessamento e sustentabilidade.

Sérgio Silveira de Barros

Engenheiro Civil e Bacharel em Ciências Econômicas pela UFPR. Engenheiro de Segurança do Trabalho pelo CEFET/PR. Auditor Fiscal do Ministério do Trabalho e Emprego. Professor Universitário e de Ensino Profissionalizante. Aluno do Programa de Pós-graduação de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial da UFPR, SENAI/PR e Universidade Stuttgart (Alemanha).



