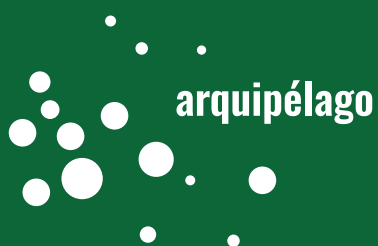
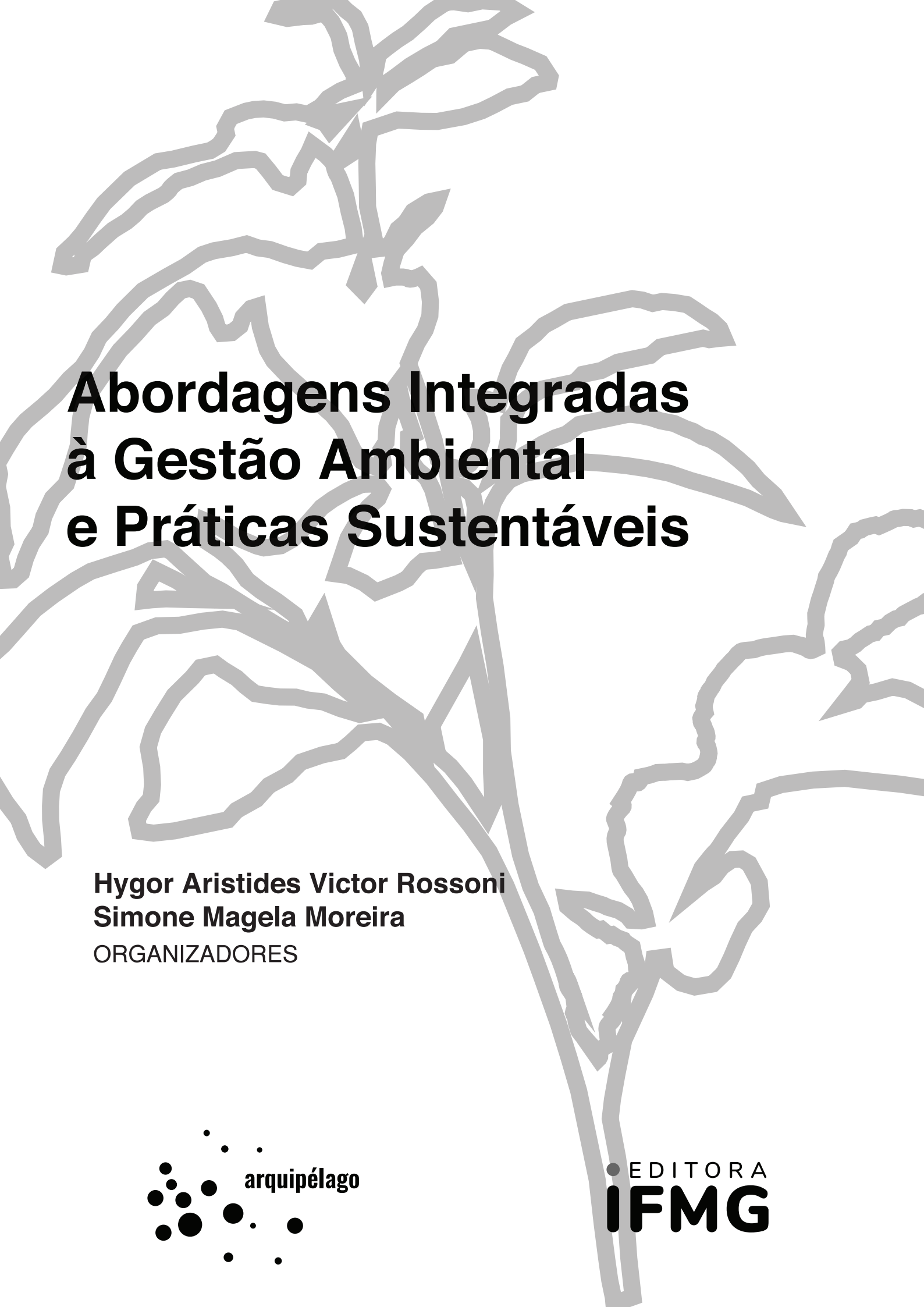


Abordagens Integradas à Gestão Ambiental e Práticas Sustentáveis

Hygor Aristides Victor Rossoni
Simone Magela Moreira
ORGANIZADORES

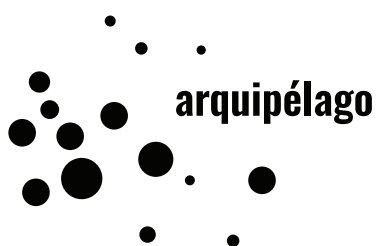


EDITORIA
IFMG



Abordagens Integradas à Gestão Ambiental e Práticas Sustentáveis

**Hygor Aristides Victor Rossoni
Simone Magela Moreira**
ORGANIZADORES



• EDITORA
IFMG

Reitor Rafael Bastos Teixeira
Pró-Reitora de Inovação, Pesquisa e Pós-Graduação Gislayne Elisana Gonçalves

Editor Alexandre Delfino Xavier
Revisão textual e normalização Aguimario Pimentel Silva, Alexandre Delfino Xavier
Projeto gráfico e diagramação Guilherme da Silva Moreira
Linha editorial Técnico-científica

Conselho Editorial Alexandre Delfino Xavier, Giulliano Gloria de Sousa, Gracielle Paixão Santos Dias, Héli da Márcia Hoffmann Fôscolo, Hygor Aristides Victor Rossoni, Jacqueline Cardoso Ferreira, Júlia Alves Rodrigues Carvalhal, Luciano Vilas Boas Espiridião, Maria Carolina Botrel, Marie Luce Tavares, Niltom Vieira Junior, Rejane Valéria Santos, Rodrigo de Oliveira Gomes, Ronan Daré Tocaundo, Sara Gonçalves Rabelo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Catalogação na Fonte)

A154 Abordagens integradas à gestão ambiental e práticas sustentáveis [recurso eletrônico]
/ Organizadores: Hygor Aristides Victor Rossoni; Simone Magela Moreira. – Belo Horizonte : Ed. IFMG, 2025.
162 p.: il, color. – (Coleção Arquipélago)
E-book, no formato PDF.

ISBN 978-65-85821-17-9

1. Gestão ambiental. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Gestão de recursos.
4. Tecnologia ambiental. 5. Sustentabilidade. I. Rossoni, Hygor Aristides Victor.
II. Moreira, Simone Magela. III. Instituto Federal de Minas.

CDU 502.131.1

Rejane Valéria Santos - Bibliotecária - CRB-6/2907

Esta obra foi selecionada e analisada por pares por meio do Edital 16/2023 da Editora IFMG. Os textos assinados, no que diz respeito tanto à linguagem quanto ao conteúdo, não refletem necessariamente a opinião do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. As opiniões são de responsabilidade exclusiva dos respectivos autores. É permitida a reprodução total ou parcial desde que citada a fonte.

Esta obra está licenciada sob uma licença Creative Commons
Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional



Editora IFMG
Avenida Professor Mário Werneck, 2590, Buritis
30575-180 Belo Horizonte – MG
(31) 2513-5100
editora@ifmg.edu.br
www.ifmg.edu.br

SUMÁRIO

Prefácio	07
Introdução	09
PARTE I – INICIATIVAS LOCAIS DE SUSTENTABILIDADE	11
Blocos de adobe confeccionados com o solo do município de Piumhi/MG: Uma composição única	13
<i>Talyta de Freitas Sousa</i>	
<i>Pedro Luiz Teixeira de Camargo</i>	
<i>Felipe da Silva Alves</i>	
<i>Gabriela Lourdes de Sousa</i>	
<i>Gean Abner Ferreira de Sousa</i>	
<i>Gabriel Lucas Linhares</i>	
Conforto acústico em ambientes educacionais: Desafios e soluções em zonas de tráfego intenso	23
<i>Amábile Amaral Marques</i>	
<i>Ariana Cristina Santos Almeida</i>	
<i>Gustavo Pereira Pessoa</i>	
Do descartável ao sustentável, a inspiradora transformação na unidade de alimentação e nutrição escolar do IFMG, campus Bambuí.....	37
<i>Eva Julieta de Melo</i>	
<i>Kaillane Narciso Coelho</i>	
<i>Ana Luiza de Andrade Almeida</i>	
<i>Simone Magela Moreira</i>	
PARTE II – GESTÃO DE RESÍDUOS E ESTRATÉGIAS DE VALORIZAÇÃO ...	57
Análise espacial e temporal do local de disposição final de resíduos sólidos de Florestal/MG	59
<i>Mariana Gontijo</i>	
<i>Luís Valarini Filho</i>	
<i>Shirley Soares de Oliveira</i>	
<i>Hygor Aristides Victor Rossoni</i>	
<i>Jairo Rodrigues Silva</i>	

Estratégias de gestão para o encerramento e recuperação da área de disposição final de resíduos sólidos em Florestal – MG	71
<i>Luís Valarini Filho</i>	
<i>Mariana Gontijo</i>	
<i>Shirley Soares de Oliveira</i>	
<i>Thiago Felipe de Matos</i>	
<i>Jairo Rodrigues Silva</i>	
<i>Hygor Aristides Victor Rossoni</i>	
Tecnologias de biorrefinaria para a valorização de resíduos na indústria de óleo de palma	91
<i>Brenno Santos Leite</i>	
<i>Sibele Augusta Ferreira Leite</i>	
<i>Vitória Sônego Lemos dos Santos</i>	
<i>Temitope Fadekemi Ogunjimi</i>	
PARTE III – PESQUISA E APLICAÇÕES EM BIOENERGIA	115
Comportamento energético de biomassa de origem animal a partir do uso integrado de resíduos de origem vegetal	117
<i>Brenno Santos Leite</i>	
<i>Sibele Augusta Ferreira Leite</i>	
Calcinação com biomassa: uma análise energética em fornos verticais no centro oeste de Minas Gerais	141
<i>Ricardo Carrasco Carpio</i>	
Sobre os autores.....	157

PREFÁCIO

Em uma era de preocupações ambientais prementes e crescente conscientização global de nossa responsabilidade compartilhada pela saúde do planeta, sentimo-nos compelidos a investigar e a promover práticas sustentáveis em todos os níveis. Por isso, é com grande satisfação que apresentamos este livro dedicado ao estudo das práticas sustentáveis para o desenvolvimento sustentável no estado de Minas Gerais, Brasil, uma região com uma mistura única de centros urbanos, comunidades rurais e preciosos ecossistemas naturais.

Esta obra, promovida por um conjunto de pesquisadores, acadêmicos e profissionais engajados na temática da sustentabilidade em Minas Gerais, é dividida em quatro partes. À medida que avançamos pelas páginas deste livro, convido você a mergulhar nas narrativas de transformação, nos estudos de casos inspiradores e nas pesquisas inovadoras apresentadas em cada parte desta obra.

Na Parte I: “Iniciativas Locais de Sustentabilidade” são exploradas diversas ações e projetos desenvolvidos na promoção de práticas sustentáveis. São apresentados exemplos de iniciativas bem-sucedidas, como um exame de blocos de adobe feitos com solo local, um exemplo de aproveitamento do conhecimento indígena para a construção sustentável. Essa seção abrange também uma avaliação ambiental com base nos níveis de pressão sonora dentro de uma escola urbana e compartilha a transformação inspiradora de uma unidade escolar de alimentação e nutrição, que passou de uma mentalidade descartável para práticas sustentáveis.

Na Parte II: “Gerenciamento de Resíduos e Estratégias de Recuperação” são apresentadas estratégias inovadoras para minimizar o impacto ambiental dos resíduos gerados pelas atividades humanas. Além disso, discutimos os desafios enfrentados e as oportunidades existentes para a recuperação de áreas degradadas, proporcionando um panorama abrangente sobre as práticas sustentáveis nesse contexto. A seção oferece uma análise espacial e temporal do descarte de resíduos sólidos na cidade de Florestal/MG e discute estratégias para seu fechamento e recuperação. Conclui com uma incursão no intrigante campo das tecnologias de biorrefinaria aplicadas à recuperação de resíduos na indústria de óleo de palma.

A Parte III: “Pesquisa e Aplicações em Bioenergia” dedica uma atenção especial à bioenergia como uma alternativa promissora para a sustentabilidade energética. Investigamos o comportamento energético da biomassa derivada de dejetos animais integrados a dejetos de origem vegetal e, em seguida, aprofundamo-nos no uso de biomassa em processos de calcinação em fornos verticais. Por meio dessas pesquisas, é possível vislumbrar um futuro energético mais sustentável para o estado, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a diversificação da matriz energética.

Esperamos que esta obra contribua para a disseminação de boas práticas e para o avanço do conhecimento científico na busca por um desenvolvimento sustentável. Que ela inspire gestores, pesquisadores, estudantes e todos aqueles interessados em construir um futuro mais equilibrado e resiliente para as próximas gerações. Somente por meio de um compromisso coletivo e de ações concretas, poderemos garantir um futuro próspero e saudável para o nosso estado e para o planeta como um todo.

Por fim, agradecemos a todos os autores e colaboradores envolvidos na criação deste livro, cujo comprometimento e dedicação foram fundamentais para a sua concretização. Agradecemos também aos leitores, por seu interesse e por se juntarem a nós nessa jornada em busca de soluções sustentáveis.

Boa leitura!

Prof. Dr. Gabriel de Castro Jacques

Docente do Curso de Mestrado Profissional em
Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental

INTRODUÇÃO

Damos-lhe as boas-vindas a “Abordagens Integradas à Gestão Ambiental e Práticas Sustentáveis”, um compêndio meticulosamente curado de pesquisas pioneiras e estudos de casos influentes. Esta antologia representa uma personificação do potencial ilimitado de sustentabilidade e gestão de recursos, um farol essencial que ilumina o caminho para o nosso futuro. O *ethos* central deste livro é a demanda crítica por abordagens inovadoras e integradas para a gestão ambiental. Versamos baseados em paradigmas que vão além do controle de danos, permitindo-nos construir uma base robusta para um mundo mais resiliente e sustentável. Isso não é apenas uma opção – é um imperativo em face da dinâmica ambiental em rápida mudança do nosso planeta.

Fruto de exaustiva pesquisa e colaboração sinérgica entre professores, alunos do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental (MPSTA) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) e alguns convidados externos, cada capítulo encapsula o objetivo comum de nossa comunidade acadêmica: promover uma compreensão holística de práticas sustentáveis e de gestão ambiental. Nós nos esforçamos para fornecer soluções práticas e aplicadas que tenham o potencial de criar um impacto substancial no mundo real.

A relevância deste livro está em seu posicionamento único na interseção entre praticidade e teoria. Ele fornece novos *insights* sobre gestão ambiental,

sustentabilidade e bioenergia, três áreas de pesquisa de importância crítica que se alinham com as áreas prioritárias identificadas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), principal agência federal do Brasil para apoio e avaliação de Pós-graduação. A estrutura de avaliação da CAPES reconhece a importância da Ciência da Sustentabilidade e dos Recursos Energéticos – duas disciplinas em expansão e interconectadas, críticas para o nosso futuro. Este livro contribui não apenas para esses campos acadêmicos, mas também para nossa compreensão coletiva desses assuntos. Ele fornece uma plataforma robusta para pesquisas futuras, formulação de políticas e aplicações práticas nessas áreas cruciais.

Este livro estende seu alcance além dos contornos acadêmicos. É mais do que apenas uma coleção de pesquisas, servindo de inspiração para provocar novos estudos, estimular o discurso e catalisar ações em direção a um futuro sustentável. Destina-se, ainda, a ser um recurso para profissionais da indústria, formuladores de políticas, ativistas ambientais, estudantes, educadores e qualquer pessoa interessada em impactar positivamente nosso meio ambiente. Estabelece uma ponte entre a pesquisa acadêmica e a sua aplicabilidade no campo, destacando o potencial da ciência e da tecnologia para oferecer soluções tangíveis para os desafios ambientais mais prementes. Os diversos tópicos abordados, apoiados por métodos científicos rigorosos, mostram o imenso potencial da colaboração interdisciplinar na abordagem de questões ambientais complexas. E cada capítulo apresenta um equilíbrio meticuloso entre teoria fundamental, metodologia inovadora e respostas pragmáticas aos problemas atuais.

Juntos, nós, os autores, damos as boas-vindas a você, desejando uma leitura esclarecedora de aprendizado e de descoberta!

PARTE I – INICIATIVAS LOCAIS DE SUSTENTABILIDADE

Nesta seção, focalizamos na importância da ação localizada e seu papel em um mundo mais sustentável. Começamos investigando o uso de técnicas simples e tradicionais, como o uso do solo local para a criação de blocos de adobe, que podem servir como alicerce da construção sustentável. Posteriormente, o cenário muda para o ambiente escolar, em uma análise do impacto de fatores ambientais como a pressão sonora sobre a experiência educacional e o bem-estar dos alunos. A abordagem culmina com o estudo de caso do *Campus Bambuí*, onde os princípios de sustentabilidade foram implementados nas operações diárias do restaurante. Esses capítulos reforçam coletivamente a ideia de que a mudança começa em casa e a ação local desempenha um papel significativo na sustentabilidade global.

BLOCOS DE ADOBE CONFECCIONADOS COM O SOLO DO MUNICÍPIO DE PIUMHI/MG: UMA COMPOSIÇÃO ÚNICA

Talyta de Freitas Sousa

Pedro Luiz Teixeira de Camargo

Felipe da Silva Alves

Gabriela Lourdes de Sousa

Gean Abner Ferreira de Sousa

Gabriel Lucas Linhares

Apresentação

Desde os tempos antigos, o adobe tem sido um emblema de construção sustentável, servindo como testemunho da habilidade humana de criar a partir do que a terra oferece. Utilizando materiais locais, essa técnica de construção apresenta vantagens econômicas e ecológicas, alinhando-se perfeitamente com os princípios fundamentais da sustentabilidade. Espalhados pelo mundo, de construções históricas no Irã aos edifícios coloniais no Brasil, os blocos de adobe têm resistido ao teste do tempo, solidificando seu legado.

No entanto, à medida que a urgência da sustentabilidade se intensifica no século XXI, vemos uma reinterpretação inovadora do adobe clássico. Com a incorporação de subprodutos como fibras e folhas de cana-de-açúcar, ele é revigorado, apresentando potencialidades ampliadas tanto em resistência quanto em gestão de resíduos. Essa sinergia entre tradição e inovação reflete a direção

necessária para a construção moderna: abraçando práticas ancestrais, enquanto infunde avanços tecnológicos, visando um mundo construído em harmonia com o ambiente ao seu redor.

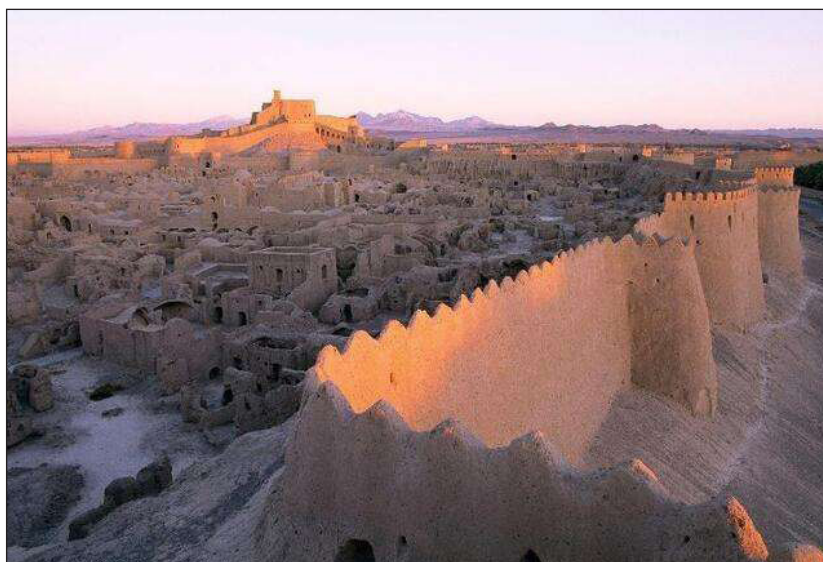
Introdução

Um dos métodos de alvenaria utilizados na bioconstrução é o adobe, um tipo de autoconstrução que utiliza materiais locais e fornece conforto térmico e acústico, usa material reutilizável, diminui a poluição, além de ser uma das formas de edificação mais econômicas e antigas do mercado.

Segundo Corrêa (2009), o adobe é um bloco constituído de solo e água, seco de forma natural, inserido no Brasil pelos portugueses. Consistia, basicamente, em usar paredes de espessuras grossas como defesa para o intenso calor. Como havia uma enorme dificuldade em se conseguir outros materiais construtivos e uma abundância de suas matérias-primas, ele se tornou a principal forma de construção da época. Infelizmente, caiu em desuso com o processo de industrialização nacional ao longo do século XX.

Segundo Corrêa (2009), o adobe é usado há mais de cinco mil anos, da África às Américas, da China ao Oriente Médio e à Europa. Portanto, existem edificações milenares que continuam de pé. A presença de construções realizadas dessa forma está espalhada pelo mundo todo. Muitas delas estão intactas até hoje, como a antiga cidadela Arg-é Bam, no Irã.

Figura 1 – Cidadela de Arg-é Bam



Fonte: Pinterest, 2020.

As fibras e as folhas de cana-de-açúcar são resíduos gerados a partir da obtenção do etanol. As utilizações desse material para a fabricação de materiais na construção ainda estão em estudo, segundo Ferreira e Filho (2009), dizendo ainda que as inserções desses elementos em tijolos apresentam uma resistência mecânica significativa no material produzido.

Para a produção do bloco de adobe, é necessária a adição de fibras para dar liga e resistência mecânica à mistura, garantindo maior segurança na utilização em alvenarias. Tratando-se em específico do adobe no quesito econômico, este apresenta uma fácil produção, que se consolida na forma de sua montagem, necessitando de apenas fôrmas para moldar o bloco.

Alguns estudos sobre traços de adobes produzidos já foram realizados, como o solo do Pantanal Mato-Grossense, com incorporação de outros materiais, sendo uma mistura de solo: esterco: serragem: água (traço em volume de 6: 1: 1: 0,9) e outra de solo: pó de brita: água (traço em volume de 6:1: 0,9), identificando as influências causadas pelas incorporações, afirmam Santos e Souza (2018).

Na vanguarda da construção sustentável, as edificações modernas estão utilizando soluções cada vez mais inovadoras. Engenheiros e arquitetos estão explorando o potencial de blocos de adobe aprimorados com adição de diferentes elementos constitutivos, como a adição de folhas e de fibras de cana-de-açúcar. Tais incrementos oferecem benefícios tangíveis, como a redução no consumo de energia e gestão mais eficiente de resíduos, tornando-se uma opção promissora para as edificações. Com essa visão tecnológica e compromisso ambiental, a construção sustentável está avançando de forma resistente, construindo um futuro mais ecológico e consciente.

Desenvolvimento

A bioconstrução é um termo utilizado para construções ecológicas, sendo uma das formas mais antigas de edificação, consistindo na utilização de recursos naturais sem a necessária transformação industrial. O termo abrange diversas maneiras ecológicas de se arquitetar, dentre as quais podem ser citadas: superadobe, edificações com pedras e palhas, solo-cimento etc. (Freire, 2003).

A construção sustentável (ou obra limpa) possui características de baixo impacto, não sendo necessário transporte para a sua produção, já que a atividade pode ser desenvolvida no próprio canteiro.

Um dos tipos de matéria-prima usada na bioconstrução é o adobe, que é um bloco constituído de solo e acrescido de fibras, ou não, que se diferencia do tijolo cerâmico convencional devido à sua secagem de forma natural (Junior, 2013).

Para o mesmo autor, a análise granulométrica é de extrema importância para a fabricação do bloco de adobe, já que a determinação para a sua obtenção se faz com solo argiloso. Outro ponto importante a se destacar é a facilidade na sua fabricação, que não necessita de mão de obra especializada nem de equipamentos onerosos para a produção em larga escala.

Segundo Freire (2003), esses blocos possuem inúmeras vantagens, evidenciando a principal – o solo –, sendo o material mais utilizado para a sua confecção, abrangendo também a facilidade para a sua obtenção, já que se encontra presente na maioria das regiões brasileiras no próprio terreno ou em locais próximos. Porém, ainda que de fácil acesso, precisa apresentar característica argilosa.

Ensaio de compactação e caracterização seguindo a ABNT NBR 6457 – Amostras de solo – para a realização dos ensaios de determinação do limite de liquidez e ABNT NBR 6459 – Determinação do limite de plasticidade – foram fundamentais para se garantir a justeza metodológica da proposta aqui apresentada, lembrando ainda que a referência técnica usada foi a ABNT NBR 16814:2020 Adobe – Requisitos, tanto na composição dos blocos como nos ensaios vindouros.

O Limite de liquidez marca a transição do estado plástico ao estado líquido, sendo representado por LL e expresso em porcentagem, afirma Caputo (1977).

O limite de plasticidade é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão, afirma Caputo (1977). Depois das amostras secas em estufa, foram imediatamente pesadas para a determinação dos três teores de umidade. O índice de plasticidade indicou a sensibilidade de um solo às mudanças na umidade.

O índice de plasticidade indica a sensibilidade de um solo às mudanças na umidade. Pela classificação proposta por Clement (1979 apud Neves *et al.*, 2009), o nosso solo foi classificado como arenoso. O seu comportamento, portanto, seria majoritariamente influenciado pela sua fração arenosa, o que é um resul-

tado coerente com as grandes quantidades de areia ali presentes, constatadas no ensaio de granulometria. Pela classificação de Burmister (1949 apud Das, 2011), este é um solo medianamente plástico.

Entre os testes realizados, merece destaque o de resistência à compressão. Nele foi possível perceber que o acréscimo de fibras contribui gradativamente com o aumento da resistência do bloco. Isso se dá pelo fato de a quantidade de argila e areia ser igual em todos os traços, variando em cada um apenas a quantidade de água e de fibra de cana-de-açúcar. Cabe destacar também que nenhum deles apresentou a resistência mínima de 1,5 MPa, valor presente na norma.

Dessa forma, podemos dizer que as indicações da norma ABNT NBR 16814:2020 são um passo inicial para a melhoria da qualidade das obras construídas em terra. No entanto, algumas das recomendações são difíceis de serem seguidas analisando uma futura linha de produção. Como essa norma não nos traz detalhes sobre o uso de estabilizantes, é importante considerar a possibilidade de um período prolongado de secagem à sombra. Como não foi encontrado nada que fizesse menção ou fosse contrário a essa ideia, assim fizemos.

A norma ABNT NBR 16814:2020 não estabelece como se deve tratar os trabalhos nela baseados. Portanto, sobre a ruptura da compressão de prismas, todos os corpos de prova caracterizaram-se por fissuras pequenas e levemente inclinadas.

Com isso, durante a moldagem, foram observados alguns defeitos, como os vazios (aparência esburacada dos tijolos), o aspecto deformado e o aparecimento de trincas e fissuras. Entretanto, como foram os primeiros tijolos testes a serem moldados, não era possível perceber se era necessária a diminuição ou o acréscimo de água durante a moldagem, sendo este o próximo desafio a ser vencido.

O objetivo da resistência ao cisalhamento é correlacionar com os resultados obtidos advindos da ABNT NBR 14321:1999 (paredes estruturais – determinação da resistência ao cisalhamento). Esta alvenaria foi determinada com quatro blocos, caracterizando-se por esmagamento ou fissuração dos blocos (ruptura na diagonal).

A melhora na tenacidade (qualidade do que adere fortemente a uma superfície) foi um problema vencido na fabricação de nossos blocos, uma vez que a maioria dos blocos que foram rompidos, apenas se despedaçaram um pouco nas

laterais, mas se mantiveram unidos, evidenciando a justeza da ideia aqui apresentada. Soares *et al.*, (2008) afirmam que o fato de estarem intimamente ligados e apresentarem uma boa tenacidade do sistema funciona com o intuito de absorver e fazer com que o bloco não se desfaça de uma só vez.

A norma ABNT NBR 16814:2020 não traz nenhuma referência ou instrução sobre como tratar ou determinar o acréscimo de fibras no bloco de adobe. Os resultados obtidos de resistência à compressão simples e de prismas destes blocos de adobe estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise das resistências

Traço	Resistência à compressão	Compressão de prismas
T.C.F. 2 (Traço com adição de 2% de fibra)	0,232 MPa	0,419 MPa
T.C.F. 5 (Traço com adição de 5% de fibra)	0,382 MPa	0,454 MPa
T.C.F. 10 (Traço com adição de 10% de fibra)	1,07 MPa	0,461 MPa

Fonte: Arquivo Próprio, 2022.

Após realizarmos os testes que mediam a resistência à compressão dos adobes com adição de folhas e fibras de cana-de-açúcar, percebemos que esta resistência teve um aumento de 23,19% na comparação do T.C.F.2 (Traço com adição de 2% de fibra) para o T.C.F.10 (Traço com adição de 10% de fibra).

Produzir o bloco de adobe de acordo com a norma é um imenso desafio. Portanto, para a sua realização, partimos do ponto inicial da moldagem dos corpos de prova com uma maior quantidade de fibras. No geral, o traço T.C.F.2 apresentou o melhor comportamento de trabalhabilidade, confirmando que a quantidade de fibras utilizadas nos traços T.C.F.5 e T.C.F.10 dificultaram sua moldagem. Dessa forma, indicamos que mais trabalhos deste tipo podem ser feitos para se aprofundar na temática aqui introduzida.

Se pegarmos alguns dos traços aqui obtidos, como o de caracterização dimensional, tanto o T.C.F.2 quanto o T.C.F.10 seriam rejeitados por não apresentarem a padronização de acordo com os parâmetros da norma, sobrando apenas o T.C.F.5 (Traço com adição de 5% de fibra). Entretanto, o fato de a norma apresentar tolerância de somente 5 mm nas divergências dimensionais dificulta a aprovação e o atendimento à norma para adobes produzidos de forma artesanal, já que estes apresentam irregularidades nas suas superfícies.

Em relação ao valor intermediário da resistência à compressão de prismas do T.C.F.5, pode estar relacionado à Arup (Área de ruptura), devido aos adobes serem feitos de forma artesanal e não possuírem largura, altura e comprimento padrão (mesmo que estabelecidos pela fórmula) e também à dificuldade de assentar os adobes conforme as prescrições da norma ABNT NBR 16814:2020, mantendo-se uma espessura padrão nas argamassas.

Analizando os resultados da resistência à compressão, o acréscimo de fibras contribui gradativamente com o aumento da resistência, visto que a quantidade de argila e areia é igual em todos os traços, sendo o único fator alterado em cada traço a quantidade de água e de fibra de cana-de-açúcar. Nenhum dos traços apresentou a resistência mínima de 1,5 MPa proposta pela norma para blocos a serem utilizados como vedação, devido aos traços desenvolvidos não alcançarem a resistência mínima.

Considerações finais

Enquanto o preconceito ainda assola essas técnicas de construção, o adobe tradicional e os aditivos estão cada vez mais presentes nas construções de moradias de baixo custo, ainda mais em tempos de crise econômica, como o que vivemos. Isso se dá pelo fato de não requerer mão de obra especializada para sua utilização, além de ser um material reciclável, possuir conforto térmico e não contribuir com a poluição atmosférica, visto que ele não é assado como os tijolos convencionais. O que foi possível perceber neste capítulo, através dos ensaios de resistência mecânica à compressão, confirmam a maior resistência dos adobes com adição de folhas e fibras de cana-de-açúcar.

Vale salientar que as péssimas qualidades das moradias de todo o país, onde existem mais casas vazias do que pessoas sem moradia, aumentam ainda mais a busca por alternativas economicamente viáveis para a população de baixa renda. Portanto, visando minimizar a deficiência de moradias em praticamente todas as regiões brasileiras, uma solução de baixo custo e relativa qualidade seria a adesão às construções de terra crua.

Em razão do que conseguimos apresentar neste trabalho, podemos concluir que as indicações da norma ABNT NBR 16814:2020 são um passo inicial para a melhoria da qualidade das edificações construídas em terra. No entanto, algumas

das recomendações são difíceis de serem seguidas analisando uma futura linha de produção que atenda, de fato, às demandas de nosso país e região.

Como a referida norma não apresenta detalhes como o uso de estabilizantes, sugere-se um período prolongado de secagem à sombra. Além disso, por não descrever ou citar quais os procedimentos a serem seguidos quando utilizar fibras ou outros como agregados na mistura, a norma se torna incompleta quando comparada a trabalhos de autores que são referências na bioconstrução.

Referências

ABNT. NBR 16814: Adobe — Requisitos e métodos de ensaio-Associação Brasileira de Normas Técnicas. Especificação. São Paulo. 2020.

ABNT. NBR 6457: Teor de umidade pelo método de estufa convencional- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Especificação. Rio de Janeiro. 1986.

ABNT. NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade de solos-Associação Brasileira de Normas Técnicas. Especificação. Rio de Janeiro. 2016.

ARAUJO, H, G. **Manualização de construções em adobe**. Disponível em: http://www.deecc.ufc.br/Download/Projeto_de_Graduacao/2009/Manualizacao%20de%20Construcoes%20em%20Adobe.pdf. Acesso em: 20 de junho de 2020.

BERNARDO, D. A. **Construções sustentáveis**. Disponível em: http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/flUfnOnW8rEyn7z_2014-4-22-19-43-27.pdf. Acesso em: 10 de abril de 2020.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Vol. 2. São Paulo, SP, 3ª edição revista e ampliada, Editora LTC, 456 p.1977.

CORRÊA, A. A. R; TEIXEIRA, V. H; LOPES, S. P; OLIVEIRA, M. S. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terracota)**. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542006000300017. Acesso em: 13 de junho de 2020.

FERREIRA, S. R; SILVA, A. C. da. **Construções sustentáveis: avaliação das características físico-mecânicas de adobe com adição de fibras vegetais do coco verde**. In: ENCONTRO NACIONAL V; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, III, 2009. Anais... Recife, 2009. p. 1-10.

FREIRE, W. **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**. 1 ed. Campinas: Editora Unicamp, 2003.

JUNIOR, A.; SOUZA, N. **Avaliação de blocos de adobe para construções 5: caso de angicos/rn**. Angicos: Ufersa, 2013. 51 f.:il.

PINTEREST. **La citadelle d'Arg-e Bam, l'un des plus beaux édifices d'Iran**. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/392587292509872645/>. Acesso em: 13 de junho de 2020.

SOARES, R. N.; SILVA, A. C.; PINHEIRO, J. C. **Tijolos de terra crua estabilizados com fibras de coco verde: alternativa para habitação de interesse social**. SOBER: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Rio Branco, 2008.

CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTES EDUCACIONAIS: DESAFIOS E SOLUÇÕES EM ZONAS DE TRÁFEGO INTENSO

Amábile Amaral Marques

Ariana Cristina Santos Almeida

Gustavo Pereira Pessoa

Apresentação

A urbanização acelerada, acompanhada de um aumento significativo na circulação de veículos, transformou a paisagem sonora urbana. Em meio a isso, escolas, locais onde a concentração e a tranquilidade são primordiais para o aprendizado, frequentemente encontram-se em situação vulnerável, sendo impactadas negativamente por essa realidade. Atualmente, quando o debate sobre a qualidade da educação se torna cada vez mais central, é imprescindível que também se dê atenção à qualidade do ambiente escolar em que essa educação é ministrada.

A poluição sonora não afeta apenas o processo educacional; ela repercute no bem-estar físico e psicológico de estudantes e educadores. A exposição contínua a altos níveis de ruído pode levar a problemas de saúde, como estresse, perda auditiva e distúrbios do sono. Por isso, avaliar a pressão sonora nas escolas e buscar soluções efetivas é uma necessidade urgente.

Dentro deste cenário, o presente capítulo assume uma relevância significativa. Ao alinhar a análise técnica com as normas legais por meio de um exemplo

do mundo real, ele fornece um panorama claro dos desafios enfrentados e aponta caminhos para a criação de ambientes escolares mais saudáveis e propícios ao aprendizado. A proximidade de vias de tráfego e instituições educacionais não é apenas uma questão de planejamento urbano, mas também de saúde e educação pública. Em uma era em que as cidades continuam a crescer e a se desenvolver, a importância de informações como as aqui apresentadas torna-se cada vez mais evidente.

Introdução

O conforto sonoro é apresentado pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2009) como uma questão de saúde pública e, com o crescimento e desenvolvimento dos centros urbanos, os desafios da estruturação das cidades tornam-se mais complexos. Medir níveis de pressão sonora nos ambientes, observada principalmente como consequência do tráfego veicular, é um ponto estrutural da organização e formação de muitas regiões do Brasil.

Estudar a legislação brasileira vigente que parametriza os índices de poluentes sonoros permitidos sem prejuízo à saúde humana é essencial. Identificar os níveis aceitáveis de ruídos de acordo com o ambiente e determinar se os níveis de ruído medidos se encontram dentro dos parâmetros da legislação brasileira vigente, de acordo com a Norma Brasileira (NBR) 10152:2017, é fundamental para estimar o conforto acústico nos ambientes escolares.

Uma pequena porcentagem das medições dos níveis de pressão sonora (NPS) realizadas em estudos atuais (Zannin e Ferreira, 2009) demonstra ambientes com pressão sonora dentro do limite estabelecido pela legislação de referência. Em ambientes escolares, particularmente aqueles próximos aos grandes centros urbanos, são revelados efeitos prejudiciais, comprometendo o ensino e o aprendizado (Hans, 2003; Almeida Filho *et al.*, 2012; Ochoa *et al.*, 2012; Vasconcelos e Nakata, 2013).

Como exemplo da elevada pressão sonora, destaca-se a análise realizada no município de Contagem/MG, localizado na região metropolitana de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, cujas características servem de cenário representativo para a descrição desse problema que alcança muitas outras cidades brasileiras.

Desenvolvimento

A população brasileira foi estimada em mais de 212 milhões de habitantes para 2021, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Mesmo com o declínio do crescimento da população em relação a anos anteriores, esse número evidencia o crescimento das necessidades básicas que deveriam ser oferecidas pelo poder público a essa população. O acesso à saúde, educação, saneamento básico e moradia, serviços mínimos para a sobrevivência humana, torna-se um desafio para a gestão pública, principalmente após o início da pandemia causada pelo vírus SARS-CoV 2 em 2020.

Com uma população expressiva, o Brasil está em constante reorganização urbana, legislativa e normativa para atender não somente os aspectos de saúde, sociais e políticos, bem como o conforto ambiental, critério considerado recentemente pela sociedade e estudiosos. O conforto ambiental tornou-se alvo de estudo e aplicação cotidiana nos mais diversos âmbitos, sendo também destacado nas edificações escolares e na avaliação da aprendizagem, tornando-se uma importante ferramenta da administração pública para a gestão urbana (Andrade, 2009; Schmid, 2005; Ochoa *et al.*, 2012, Almeida Filho *et al.*, 2012; Vasconcelos e Nakata, 2013; Almeida *et al.*, 2018).

As edificações devem apresentar arquitetura que traduza o estilo de vida e a relação do ser humano com si mesmo e com o meio, atendendo às necessidades psicofisiológicas (Vasconcelos e Nakata, 2013). Para tal, a aplicação dos conceitos do conforto ambiental é um suporte para essa ação, principalmente o conforto acústico. Lubman (2001) evidencia a crescente preocupação com a acústica de edifícios, destacando os escolares, pois a voz é, ainda, o canal transmissor de conhecimento mais relevante.

A escola é um dos ambientes que possibilita grande interação do sujeito com o meio, proporcionando aprendizagens diversas para além de disciplinas escolares, mas de direitos, deveres e respeito ao próximo. Pelo viés da arquitetura, um espaço escolar adequado é identificado pela representatividade, destacando aspectos de acessibilidade, ergonomia, uso e vivências (Antunes, 2021). Instruções de condução, organização do espaço físico, dinâmica da aula, explicação de conteúdo, direcionamento de atividades e mediação das relações interpessoais que acontecem em sala de aula ocorrem, em sua maioria, por meio do comando

de voz do professor. Assim, a inteligibilidade da fala, definida como a capacidade de levar ao ouvinte uma fala compreensível e inteligível, é comprometida quando o ambiente é envolvido por ruídos de fundo e reverberação acima do aceitável para o ouvido humano, preconizado nas legislações.

A aprendizagem é diretamente influenciada pelas condições do ambiente, sendo pertinente avaliar se o nível de pressão sonora (NPS) está de acordo com a legislação vigente. O ensino-aprendizagem, mesmo envolvendo diversos fatores como metodologia, materiais didáticos e domínio de conteúdo por parte do professor, também é influenciado pelas condições ambientais como acústica, temperatura, luminosidade e espaço físico, entre outros (Vasconcelos e Nakata, 2013).

Nesse contexto, a avaliação do conforto acústico destaca-se como primordial, corroborando a afirmação de que “a interferência do ruído nos sons da fala causa frustração, perturbação e irritação” (Bistafa, 2018, p.134), comprometendo a qualidade da comunicação, princípio básico do ensino-aprendizagem. O processo educacional tem o professor como o centro, seja como referência da transmissão de conhecimento ou mediador como nas metodologias ativas, cuja saúde e desempenho profissional são prejudicados quando há excesso de ruído e exposição de longos períodos a ele, exigindo esforços extras de suas funções psicofisiológicas, principalmente fadiga e estresse vocal (Andrade, 2009).

Ainda de acordo com Bistafa (2018), o som é percebido e decodificado de acordo com a sequência de eventos:

- 1) o som é gerado;
- 2) o som se propaga até a aurícula e, em seguida, para o interior do conduto auditivo externo;
- 3) o tímpano vibra;
- 4) os ossículos da orelha média vibram;
- 5) ondas de pressão são transmitidas para o líquido no interior da cóclea;
- 6) a cóclea codifica o som;
- 7) o som codificado é transmitido ao cérebro via nervo auditivo.
- 8) a orelha codifica as informações contidas no som para serem interpretadas pelo cérebro, sendo dividida em três subsistemas: orelha externa, orelha média e orelha interna (adaptado de Bistafa, 2018 p. 44).

A percepção do ruído depende da composição do espectro, do nível, da duração, da sensibilidade auditiva, da história, da cultura e do estado de espírito do ouvinte. Ruídos podem desencadear sinais patológicos e psicossociais no ser humano, variando de comprometimentos na capacidade de aprendizagem, concentração, atenção, dores de cabeça, irritação, distúrbios cardiovasculares, perda auditiva irreversível até alterações comportamentais, sociais e atitudinais, comprometendo relações cotidianas com família, amigos e profissionais (Abramovay, 2003; Cielo *et al.*, 2016; Patrício, 2014; Ferreira, 2020).

De acordo com os níveis da pressão sonora em salas de aula de uma universidade brasileira, Dias (2019) investigou a percepção de professores e alunos sobre este ruído, com a participação de 279 estudantes e 20 docentes. Das salas de aula avaliadas, as do turno da manhã mostraram-se mais ruidosas que as vespertinas. Os docentes são mais perceptíveis ao ruído que os estudantes, e os docentes apontaram ter alteração na voz devido ao ruído, causando cansaço excessivo e prejuízo na voz ao longo do dia. Sintomas como aumento do estresse e dor de cabeça também foram apontados, mas não podem ser considerados exclusivamente consequentes da poluição sonora porque investigações mais profundas não foram realizadas. Em todas as salas onde houve a medição, o nível da pressão sonora estava acima do permitido pela legislação brasileira.

A morfologia das edificações, o nível do tráfego veicular, o tipo de pavimentação e a largura da via, o revestimento dos pisos e as fachadas das edificações, a topografia, a potência, o padrão de emissão e a localização do ruído interferem na intensidade da poluição sonora, segundo Almeida *et al.* (2018), sendo estes apontamentos relevantes para a avaliação de NPS.

A poluição sonora é um fator ambiental preocupante para diversos países, principalmente pelo seu aumento considerável devido ao crescimento populacional mundial. A Diretiva Europeia 2002/49/CE do Parlamento Europeu, de 2002, sugere o gerenciamento e o controle de ruído para os países da União Europeia, incluindo o mapeamento do ruído (obrigatório para cidades acima de 250 mil habitantes), um programa de ações e metas para combate à poluição sonora e um sistema de informação ao público.

A legislação brasileira vigente, para fiscalização de ruído, é a ABNT NBR 10152/2017, que normatiza o procedimento para determinação do nível de pressão sonora representativo de um ambiente interno de uma edificação.

Ela também normatiza o procedimento e os valores de referência para avaliação sonora de ambientes internos a edificações, em função de sua finalidade para uso, e os valores de referência de níveis de pressão sonora para estudos e projetos acústicos de ambientes internos a edificações, em função de sua finalidade de uso, determinando o nível de pressão sonora para ambientes diversos, inclusive sala de aula e ambientes de circulação.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, visando ao conforto acústico. Por meio da NBR-10152/2017, normatiza os níveis de pressão sonora em ambientes internos à edificação, considerando intervalos que sugerem o conforto acústico para os ambientes escolares (Tabela 1). Por sua vez, o Código de Trânsito Brasileiro (1997) ocupa-se de normatizar e controlar a emissão de ruído por veículos automotores, obrigando-os à utilização de dispositivos de controle de emissão de ruído, inclusive definindo como pena pela infração média, perda de quatro pontos na carteira de habilitação, multa e possibilidade de remoção do veículo.

Tabela 1 – Valores de Referência de Níveis de Pressão Sonora para Escolas conforme NBR10152/2017

Ambientes	Valores De Referência (dB)	
Berçário	40	45
Biblioteca	35	45
Circulação	45	55
Ginásio e quadras esportivas	45	50
Salas de Aulas	40	50

Fonte: Marques, 2019.

No entanto, apesar das legislações, nem sempre os limites normativos são observados. Mensurações dos níveis de pressão sonora realizadas no contexto de uma escola municipal selecionada em Contagem – MG exemplificam o ambiente auditivo em que alunos podem se encontrar diariamente e, com base no que se encontra demonstrado, educadores, administradores e formuladores de políticas podem tomar decisões informadas sobre as possíveis intervenções ou ajustes para aperfeiçoar as condições acústicas para um aprendizado eficaz.

Posicionamento geográfico: avaliando a localização da escola como um fator determinante para os desafios do ruído

A localização de uma escola desempenha um papel fundamental como fator de risco para distúrbios sonoros. A proximidade de áreas de tráfego intenso, zonas industriais ou outros centros urbanos pode aumentar exponencialmente as chances de um ambiente de aprendizagem ser afetado por ruído externo (Patrício, 2014). O posicionamento geográfico de uma instituição de ensino, em relação a tais fontes geradoras de ruído, pode ter profundas implicações na qualidade auditiva de suas dependências, podendo prejudicar os processos acadêmicos e a concentração dos alunos (Almeida *et al.*, 2018). Portanto, é essencial reconhecer e abordar a influência da localização de uma escola ao considerar os desafios relacionados ao ruído.

Com estimativa de 673.849 pessoas (IBGE, 2021), o município destaca-se como um polo industrial, de comércio e serviços, possuindo 125 unidades escolares na rede municipal de ensino instaladas em suas sete regionais administrativas. Algumas dessas unidades escolares se localizam às margens de rodovias, como a Via Expressa Francisco Cleuton Lopes, com intenso tráfego automotivo.

Tomando como referência, a Escola Municipal Professor Hilton Rocha (Figura 1), que atende a estudantes do 1º ao 9º ano, em horários das 07h00min às 17h30min, temos um caso representativo do que podem ser as condições prevalentes em outras escolas. Uma avaliação exploratória para a determinação quantitativa do nível de pressão sonora, mesmo tendo sido realizada durante o isolamento social provocado pela pandemia da Covid-19, demonstrou que os níveis de pressão sonora foram, em sua maioria, muito acima dos valores aceitáveis, estabelecidos pela NBR 10152/2017.

Figura 1 – Localização da Unidade Escolar e sua proximidade com a Via Expressa de Contagem/MG.



Fonte: Google Maps, 2021.

A proximidade da escola com a rodovia significa que seu ambiente auditivo é dominado pelo ruído incessante do tráfego de veículos. O grande volume de medições realizadas, 5.700 amostras nos turnos da manhã e da tarde, traduz um quadro abrangente, mas desconcertante, dessa paisagem auditiva. É uma prova da magnitude e consistência da pressão sonora exercida pelo fluxo de veículos em suas proximidades.

Surpreende o achado de que 90% das amostras registraram níveis de ruído superiores aos 50dB – limite aceitável para ambientes de sala de aula, trazendo à luz a magnitude do desafio que se enfrenta. Esse dado é ainda mais preocupante quando se leva em conta as condições em que essas leituras foram feitas. Os cenários de *lockdown*, que restringiram o movimento veicular, fazendo-se esperar, portanto, que oferecessem algum alívio, não afetaram significativamente as leituras. Além disso, a própria escola estava em atendimento remoto, sem estudantes e funcionários no período de medição, permitindo-se medir exclusivamente o som produzido pelo exterior. Ausente de ruídos ambientais internos como discussões, passos ou atividades relacionadas à escola, as medições feitas são um reflexo não diluído do ataque auditivo da rodovia. Isso sugere que, mesmo em condições relativamente mais silenciosas, a localização próxima à rodovia a expõe a níveis perturbadores de ruído e ressalta a necessidade urgente de estratégias de mitigação (Roy, 2004; Almeida Filho *et al.*, 2012; Dias *et al.*, 2019).

A escola, em sua essência, não é apenas uma estrutura arquitetônica, mas um terreno fértil onde as mentes jovens são nutridas e moldadas. A sanidade de seu ambiente, tanto física quanto acusticamente, é fundamental para o ideal desenvolvimento do aluno. Abordar os desafios acústicos e implementar medidas de mitigação amplifica a eficácia do processo de aprendizagem. Um ambiente mais silencioso e sem interrupções constantes de ruídos externos facilita uma melhor concentração e a retenção de informações, garantindo que os alunos aproveitem ao máximo sua jornada educacional (Hans, 2003; Almeida Filho *et al.*, 2012; Vasconcelos e Nakata, 2013; Trombetta Zannin *et al.*, 2014; Paula, 2020; Krolow *et al.*, 2021).

Não são apenas os alunos que se beneficiam de um ambiente educacional com menor pressão sonora. Professores também experimentam melhorias tangíveis em suas condições de trabalho quando os desafios acústicos são abordados. O barulho incessante, se não for mitigado, pode causar tensão psicológica e física. Altos níveis de pressão sonora podem exacerbar problemas relacionados aos sistemas vocal e auditivo, prejudicando a capacidade dos professores de se comunicar de forma eficaz e até mesmo arriscando complicações de saúde a longo prazo. Garantir que eles não estejam constantemente em conflito com o ruído não apenas aumenta a eficiência profissional, mas também reduz as chances de faltas por motivos de saúde, garantindo a continuidade do processo educativo (Dias *et al.*, 2009; Cantieri, 2010).

Além do mais, os impactos positivos de um ambiente escolar otimizado acusticamente vão além dos benefícios imediatos para alunos e professores. Uma comunicação mais clara, livre da interferência de ruídos externos, favorece o melhor relacionamento interpessoal, a colaboração e o entendimento mútuo entre todos os envolvidos nas dependências da escola (Ochoa *et al.*, 2012). Quando os professores não estão constantemente lutando contra a tensão relacionada ao ruído, seu desempenho profissional melhora. Isso leva a uma estratégia de ensino mais coesa e eficaz e, conseqüentemente, a melhores resultados educacionais. Os benefícios indiretos, embora sutis, desempenham um papel fundamental na criação de um ambiente escolar harmonioso e produtivo que reverbera com o espírito da verdadeira educação (Losso, 2003).

O caso da escola em Contagem/MG, embora único em seus desafios individuais e contexto, é emblemático de uma preocupação mais ampla enfrentada por inúmeras escolas situadas próximas a rodovias ou outras fontes significativas de

poluição sonora (Dias *et al.*, 2009; Almeida Filho *et al.*, 2012; Andrade *et al.*, 2009; Cielo *et al.*, 2016). Essas instituições educacionais estão no nexo do desenvolvimento urbano e da necessidade de preservar um ambiente propício ao aprendizado. À medida que as cidades se expandem e o crescimento da infraestrutura invade esses bastiões da educação, os obstáculos acústicos só aumentam (Beltrame e Moura, 2009).

No entanto, esses desafios não são intransponíveis. O primeiro passo para uma solução é o reconhecimento e, por meio de extensas medições do nível de pressão sonora, iluminamos a magnitude do problema. As escolas em todo o mundo, quando munidas de conscientização e das ferramentas certas, podem abrir caminho para a elaboração de estratégias inovadoras de mitigação (Hans, 2003; Almeida Filho *et al.*, 2012; Vasconcelos e Nakata, 2013; Trombetta Zannin *et al.*, 2014; Zannin e Ferreira, 2009; Paula, 2020; Krolow *et al.*, 2021). É essencial reconhecer que as apostas são altas. Não se trata apenas de níveis de decibéis, mas do futuro de nossa geração mais jovem, do bem-estar de nossos educadores e da qualidade geral da educação transmitida.

Com um esforço conjunto de formuladores de políticas, administradores escolares e comunidades, é possível garantir que nossas escolas continuem sendo locais favoráveis ao aprendizado, como devem ser, independentemente de seus desafios geográficos. À medida que avançamos para um futuro cada vez mais urbanizado, torna-se nossa responsabilidade coletiva garantir que a cacofonia do progresso não abafe as notas harmoniosas da educação.

Considerações finais

O desafio de conciliar a mobilidade urbana com a qualidade do ambiente de aprendizado é agravado pelo impacto negativo dos ruídos na saúde humana, seja ela vocal, auditiva ou psicológica. Assim, a necessidade de garantir ambientes escolares mais silenciosos e propícios ao aprendizado torna-se não apenas uma questão educacional, mas também de saúde pública.

O estudo sobre o conforto acústico em ambientes educacionais, particularmente em áreas de intenso tráfego, lançou luz sobre uma problemática que, até o momento da pandemia, era frequentemente negligenciada ou minimizada. Níveis de pressão sonora alarmantes são detectados na maioria das escolas localizadas nos grandes centros urbanos.

As soluções para melhoria do conforto acústico não se restringem apenas à redução do tráfego ou à instalação de barreiras acústicas, mas também à revisão das práticas arquitetônicas e urbanísticas, buscando uma integração harmônica entre a escola e a cidade. Além disso, é preciso considerar a utilização de materiais sustentáveis e inovadores que possam oferecer melhor isolamento sonoro, ao mesmo tempo em que contribuam para a construção de edifícios mais ecológicos e saudáveis.

A busca por ambientes escolares mais silenciosos, saudáveis e propícios à aprendizagem é um compromisso que deve ser assumido por toda a sociedade, pois se trata da qualidade de vida e do futuro de nossas crianças e jovens. A partir disso, é possível concluir que ainda há muito a ser feito, e para enfrentar este desafio, abordar o problema com uma visão sustentável é essencial.

Referências

ABRAMOVAY, Miriam; CASTRO, Mary Garcia. **Ensino médio: múltiplas vozes**. Brasília: UNESCO, MEC, 662p. 2003.

ALMEIDA FILHO, Nelson de *et al.* Intensidade do ruído produzido em sala de aula e análise de emissões acústicas em escolares. **Int Arch Otorhinolaryngology**, v. 16, n. 1, p. 91-5, 2012.

ALMEIDA, Maria Lívia; NOGUEIRA, Amanda; TORRES, Julio Cesar B. **Avaliação do impacto do ruído de tráfego nas edificações com base nos aspectos morfológicos da Barra da Tijuca, Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2018.

ANDRADE, Joana Maria Figueiredo Mota de *et al.* **Caracterização do conforto acústico em escolas**. 2009. Tese (Mestre em Engenharia Civil — Especialização em construções). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2009

ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei *et al.* Arquitetura escolar inclusiva: reflexões sobre a acessibilidade na experiência da extensão universitária. **Revista de Extensão**, v. 5, n. 1, p. 84-102, 2021.

BELTRAME, Mauria Bontorin; MOURA, Graziella Ribeiro Soares. Edificações escolares: Infraestrutura necessária ao processo de ensino e aprendizagem escolar. **Travessias**, v. 3, n. 2, 2009.

BISTAFÁ, R., S. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521212843/>. Acesso em: 28 mar 2021.

CANTIERI, Eduardo *et al.* Elaboração de um mapa de ruído para a região central da cidade de Curitiba-PR. **Revista Produção Online**, v. 10, n. 1, 2010.

CIELOCA, PORTALETE CR, RIBEIRO VV, BASTILHA GR. Occupational, general health and vocal profile of teachers of Santa Maria city. **Rev CEFAC**, v. 18, n. 3, p. 635-48, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-021620161838515>.

CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO – CTB – LEI Nº 9.503, DE SETEMBRO DE 1997.

DIAS, Fernanda Abalen Martins; SANTOS, Bárbara Alves dos; MARIANO, Hully Cecília. Níveis de pressão sonora em salas de aula de uma Universidade e seus efeitos em alunos e professores. **CoDAS**, v. 31, n. 6, p. e20180182, 2019.

FERREIRA, Dayane Gonçalves; DE JESUS RIBAS, Rovadávia Aline; DE PAULA, Geraldo Donizetti. Desempenho acústico: parâmetros normativos x percepção da população. Estudo de caso. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1688-1705, 2020.

HANS, Ramon Fernandes. Avaliação de ruído em escolas. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 2, n. 2, p. 9-20, 2003. Disponível em: <https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/29> (Liberato).

IBGE. Disponível em: https://censo2021.ibge.gov.br/sobre/numeros-do_censo.html#:~:text=Veja%2C%20a%20seguir%2C%20algumas%20informa%C3%A7%C3%B5es,a%20serem%20visitados%2C%205570%20munic%C3%ADpios. Acesso em: 02 abr 2021 às 20:48.

KROLOW, Fabiane *et al.* Estudo de conforto acústico em bibliotecas de universidades em Cuiabá. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 27201-27211, 2021.

LOSSO, M. A. F. **Qualidade Acústica de Edificações Escolares em Santa Catarina: avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação**. 168 f. Florianópolis, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LUBMAN, D.; SUTHERLAND, L. C. **The Impact of Classroom Acoustics on Scholastic Achievement**. 17th Meeting of The International Commission for Acoustics, Rome, Italy. 2001.

MARQUES, Amáble Amaral. **Avaliação ambiental de uma escola municipal de Contagem/MG: uma análise por meio do nível da pressão sonora e da percepção de professores**. 2021. Dissertação. Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Bambuí, 2021.

OCHOA, Juliana Herlemann; ARAÚJO, Daniel Lima; SATTLER, Miguel Aloysio. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 91-114, 2012.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Guidelines for Community Noise**. Genebra: OMS, 2009.

PAULA, Lucio Paulo. Avaliação pós-ocupação para acústica de salas de aula-estudo de caso em escolas técnicas do Estado de São Paulo. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação** v. 4, n.15, 2020.

PATRÍCIO, Olívio. Meio ambiente, transportes e poluição. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, v.5, n.8, p.41-55, 2014.

ROY, N. *et al.* **Prevalence of voice disorders in teachers and the general population**. J Speech Lang Hear Res, v. 47, n. 2, p.281-93, 2004

SCHMID, A. L. **A Ideia de Conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

TROMBETTA ZANNIN, Paulo Henrique *et al.* Análise espectral do ruído no entorno do campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 32, p. 73-94, 2014.

VASCONCELOS, Maria Alice de Oliveira Costa; NAKATA, Camila Mayumi. Avaliação dos Níveis de Ruído em Ambientes de Ensino. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n. 2, 2013.

ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta; FERREIRA, Andréa de Campos. Field measurements of acoustic quality in university classrooms. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 68, p. 1053-1057, 2009.

DO DESCARTÁVEL AO SUSTENTÁVEL, A INSPIRADORA TRANSFORMAÇÃO NA UNIDADE DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO ESCOLAR DO IFMG, *CAMPUS BAMBUÍ*

Eva Julieta de Melo

Kaillane Narciso Coelho

Ana Luiza de Andrade Almeida

Simone Magela Moreira

Apresentação

Este capítulo leva os leitores a uma viagem pela iniciativa de sustentabilidade desenvolvida na Unidade de Alimentação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), *Campus Bambuí*. Com foco na redução do desperdício, destaca a proposta de substituição do uso de copos descartáveis por canecas reutilizáveis entre os usuários do restaurante escolar. No texto, os princípios dessa solução ambientalmente consciente são aprofundados, revelando como atitudes dessa natureza geram uma maior compreensão, inovação, eficácia, escalabilidade e educação, entre outros benefícios. Ao destacar a transição bem-sucedida dos resíduos para a sustentabilidade, o capítulo serve como um exemplo inspirador para outras instituições e incentiva os leitores a explorarem tais abordagens em seus próprios esforços de sustentabilidade.

Os efeitos sistêmicos dos produtos de uso único

A onipresença de produtos descartáveis em nosso estilo de vida moderno deu início a uma cultura de conveniência, atendendo aos nossos desejos de facilidade, conforto e acessibilidade. Dentre esses, os copos descartáveis têm surgido como uma das escolhas mais prevalentes, sendo rapidamente descartados na lixeira mais próxima assim que sua finalidade é cumprida. No entanto, o fascínio pela praticidade e a simplicidade mascara uma questão premente: a natureza intrinsecamente insustentável desses itens. Seu descarte aleatório e tratamento descuidado desencadeiam uma cascata de consequências ecológicas, causando danos profundos ao nosso frágil meio ambiente (Defra, 2019). É imperativo enfrentar esse dilema ambiental, buscando alternativas viáveis e promovendo uma mudança de paradigma em direção à sustentabilidade.

A presença de copos descartáveis tem provocado preocupações ambientais profundas que não podem ser ignoradas. O próprio material com o qual esses copos são fabricados agrava o problema, pois ele é derivado de fontes não renováveis de petróleo. Essa dependência de combustíveis fósseis não apenas perpetua nossa dependência de recursos insustentáveis, mas também desencadeia uma rede de ramificações ambientais que vão desde a extração da matéria prima até os estágios finais de fabricação desses copos. Os efeitos prejudiciais de tais práticas reverberam em nossos ecossistemas, ameaçando o equilíbrio delicado e a sustentabilidade a longo prazo (Tosi *et al.*, 2013).

A realidade alarmante da longevidade dos copos descartáveis vem à tona, lançando uma sombra assustadora sobre nossa paisagem ambiental. Estima-se que, apesar de sua existência aparentemente efêmera em nosso cotidiano, eles persistam por um período espantosamente prolongado, com um tempo médio de decomposição variando de 250 a 400 anos. No entanto, o escopo de seu impacto se estende além de sua existência prolongada. Os copos plásticos, por serem materiais não biodegradáveis, sofrem um processo de fotodegradação sob a luz solar, levando à liberação de microplásticos no meio ambiente. Essas partículas minúsculas, medindo menos de 5 mm, representam uma ameaça insidiosa aos ecossistemas e à vida selvagem. Elas se infiltram nos corpos d'água, no solo e no ar que respiramos, permeando até os cantos mais remotos do nosso planeta (Avio *et al.*, 2016). As consequências da poluição por microplásticos são abrangentes e multifacetadas, desde a interrupção das cadeias alimentares marinhas e o emaranhamento de animais marinhos até a transferência potencial dessas partículas na

cadeia alimentar, acabando por impactar a saúde humana (Wright *et al.*, 2013; Koelmans *et al.*, 2019). Assim, as repercussões do descarte inadequado de copos descartáveis reverberam nos sistemas ecológicos, deixando uma marca indelével na natureza e na sociedade.

O impacto ambiental dos copos descartáveis vai além de seu descarte imediato e atinge os domínios das mudanças climáticas. A extração e a produção de matérias-primas para esses copos, predominantemente derivadas de combustíveis fósseis, estão intrinsecamente ligadas às emissões de gases de efeito estufa. Por serem processos intensivos em carbono, a extração, refino e transporte de petróleo contribuem significativamente para as emissões de dióxido de carbono (CO₂), o principal fator da mudança climática antropogênica. Além disso, os processos de fabricação envolvidos na transformação dessas matérias-primas em copos descartáveis liberam quantidades substanciais de CO₂ e outros gases de efeito estufa, agravando a crise climática global (Geyer *et al.*, 2017).

No entanto, o impacto ambiental dos copos descartáveis não cessa quando são descartados. O método predominante de gerenciamento de resíduos para esses copos, a incineração, intensifica ainda mais sua pegada de carbono. A incineração de copos descartáveis libera não apenas CO₂, mas também metano (CH₄), um potente gás de efeito estufa com um potencial de aquecimento global estimado em 25 vezes maior que o CO₂ em um período de 100 anos. A combustão de materiais orgânicos dentro dos copos, como revestimentos de papel ou restos de bebidas, aumenta as emissões de metano durante o processo de incineração. Essas emissões contribuem para o forçamento radiativo e aceleram o ritmo das mudanças climáticas (Geyer *et al.*, 2017). Além disso, a intrincada interação entre mudanças climáticas e sistemas ecológicos perturba a biodiversidade, altera habitats e ameaça o delicado equilíbrio do qual inúmeras espécies dependem para sua sobrevivência (Shen *et al.*, 2020).

É crucial reconhecer que o impacto ambiental dos copos descartáveis se estende além do descarte imediato e dos processos de produção. O ciclo de vida desses copos abrange a extração de matérias-primas, a fase de fabricação, o transporte, o uso e, finalmente, o seu destino em aterros sanitários ou instalações de incineração. Cada estágio envolve consumo de recursos, uso de energia e geração de resíduos, contribuindo para várias cargas ambientais, incluindo poluição do ar e da água, desmatamento e esgotamento dos recursos naturais (Li *et al.*, 2015; Suman *et al.*, 2020). Para enfrentar esses desafios multifacetados, é necessária uma abordagem

abrangente, incluindo princípios de economia circular, *design* sustentável, estratégias de gerenciamento de resíduos e uma mudança para alternativas reutilizáveis.

Na moderna abordagem *One health*, as consequências da continuidade desse modelo de consumo vão além das perturbações ecológicas, tradicionalmente estudadas, permeando várias facetas da sociedade humana. O aumento das temperaturas globais tem implicações graves também para a saúde humana e animal, exacerbando doenças relacionadas ao calor, ampliando a propagação de doenças transmitidas por vetores e comprometendo o acesso à água potável e à nutrição adequada. Populações vulneráveis, particularmente aquelas em comunidades de baixa renda e países em desenvolvimento, sofrem diferentemente esses impactos, acentuando as desigualdades sociais e econômicas existentes (Haines e Ebi, 2019). A natureza entrelaçada da mudança climática e da dinâmica social ressalta a necessidade urgente de adotar práticas sustentáveis e reduzir a pegada de carbono associada aos copos descartáveis.

Assim, abordar o impacto ambiental dos copos descartáveis é também uma oportunidade de promover a resiliência social e econômica. A transição para alternativas sustentáveis pode criar oportunidades de emprego e promover as economias locais. Ao adotar opções reutilizáveis, como copos duráveis e ecológicos, podemos reduzir a demanda por itens de uso único e incentivar uma mudança para uma economia circular. Essa transição pode estimular a inovação, promover práticas de negócios sustentáveis e gerar crescimento econômico, ao mesmo tempo em que reduz a carga ambiental associada aos descartáveis (Geyer *et al.*, 2017).

A dimensão social das práticas sustentáveis não deve ser negligenciada. O consumo excessivo de copos descartáveis contribui para o esgotamento de recursos, degradação ambiental e desigualdades sociais. A extração de matérias-primas, muitas vezes ocorrendo em comunidades desfavorecidas, pode levar a injustiças ambientais e disparidades na saúde. Ao reduzir a demanda por copos descartáveis e adotar alternativas sustentáveis, podemos promover uma sociedade mais igualitária, na qual o acesso a recursos limpos e a um ambiente saudável venha a ser um direito compartilhado (Schwanitz *et al.*, 2015). Além disso, a produção e o descarte desses copos contribuem para a poluição plástica, um dos desafios ambientais mais prementes do nosso tempo que oferecem ameaças significativas à vida aquática e aos ecossistemas, gerando efeitos em cascata sobre os meios de subsistência das comunidades ribeirinhas e costeiras que dependem de recursos aquáticos saudáveis (Xu *et al.*, 2020).

Ao reconhecer essa complexa interconexão entre mudança climática, dinâmica social e desafios ambientais, deve-se adotar uma abordagem holística ao lidar com a questão dos copos descartáveis. É imperativo promover a colaboração entre as partes interessadas, incluindo governos, empresas e indivíduos, de modo a impulsionar mudanças sistêmicas e criar um futuro em que os descartáveis sejam substituídos por práticas sustentáveis e regenerativas que beneficiem tanto as pessoas quanto o planeta.

O ambiente escolar e o indivíduo em formação

Mudar para alternativas sustentáveis e programar estratégias abrangentes de gerenciamento de resíduos no ambiente escolar pode ter um impacto transformador, não apenas na comunidade imediata, mas também na formação dos valores e comportamentos das gerações futuras. As instituições educacionais desempenham um papel fundamental na promoção de práticas sustentáveis e na formação de cidadãos ambientalmente conscientes. Ao desestimular o uso dos copos descartáveis, as escolas podem se tornar catalisadores de mudanças, incutindo um senso de responsabilidade e cuidado em relação ao meio ambiente. A alternativa do reutilizável diminui significativamente a pegada de carbono das escolas, contribuindo para os esforços globais de combate às mudanças climáticas e promovendo uma cultura de responsabilidade ambiental entre alunos e funcionários (Busch *et al.*, 2019). À medida que os efeitos das mudanças climáticas se intensificam, é crucial que as instituições educacionais estejam preparadas para enfrentar os desafios e se adaptar às novas condições. A redução das emissões de gases de efeito estufa e o uso eficiente de recursos naturais ajudam a mitigar os impactos das mudanças climáticas no ambiente escolar, ao mesmo tempo em que capacitam os estudantes com habilidades e conhecimentos necessários para enfrentar os desafios futuros (Verlie, 2019).

As práticas sustentáveis no ambiente educacional contribuem ainda para o aumento da resiliência, tanto na instituição quanto nas comunidades do entorno. Ao reduzir a dependência de itens de uso único, as escolas se tornam mais autosuficientes e menos vulneráveis a interrupções nas cadeias de suprimentos. A promoção de alternativas sustentáveis, como copos reutilizáveis, não apenas reduz a necessidade de aquisição constante de novos itens, mas também proporciona estabilidade e flexibilidade no fornecimento de bebidas aos estudantes e funcioná-

rios (Linnenluecke *et al.*, 2020; Allwood *et al.*, 2010). Além disso, as escolas podem inspirar a comunidade a adotar práticas semelhantes em suas próprias vidas diárias. Isso cria um efeito cascata, onde a conscientização ambiental e a busca por soluções sustentáveis se espalham além dos limites da escola, resultando em um impacto mais amplo e duradouro (Everard *et al.*, 2016; Bailey *et al.*, 2020).

A adoção de práticas sustentáveis no ambiente educacional vai além da redução do impacto ambiental imediato. Essas práticas também fortalecem a resiliência da instituição e da comunidade, capacitam os estudantes para enfrentar os desafios futuros relacionados às mudanças climáticas e influenciam positivamente a adoção de práticas sustentáveis na comunidade do entorno. Essa resiliência se estende à gestão de resíduos, com sistemas eficazes para manusear e reduzir os resíduos. Nos princípios da economia circular, as escolas podem promover a conservação de recursos, reduzir a geração de resíduos e inspirar os alunos a pensar criativamente sobre soluções sustentáveis (Linnenluecke *et al.*, 2020; Allwood *et al.*, 2010).

Há de se pensar ainda na contribuição de tal prática para o aumento da equidade social. Ao defender alternativas reutilizáveis, as escolas podem ajudar a abordar questões de justiça ambiental e reduzir a carga sobre as comunidades marginalizadas que são desproporcionalmente afetadas pelo descarte de lixo e poluição ambiental. Ao envolver alunos, funcionários e a comunidade em geral em iniciativas de sustentabilidade, as escolas promovem a inclusão e capacitam os indivíduos a se tornarem agentes ativos de mudança. Esse engajamento coletivo cultiva um sentimento de pertencimento, responsabilidade compartilhada e coesão social dentro da comunidade escolar (Gallardo; Cabigan, 2023). Uma postura proativa contra os plásticos descartáveis ajuda a proteger a biodiversidade, a preservar os recursos naturais e a salvaguardar o bem-estar das gerações atuais e futuras. Ao incutir valores, conhecimentos e práticas sustentáveis nos alunos, as escolas moldam as futuras gerações de cidadãos ambientalmente conscientes que continuarão a promover mudanças positivas em suas comunidades e além (Schiefer; Van, 2017). O ambiente escolar serve como uma plataforma poderosa para promover uma mentalidade sustentável, inspirar ações e criar um futuro mais brilhante e sustentável para todos.

Nosso pensamento se alia estreitamente com as perspectivas de estudiosos da sustentabilidade, como David Orr, que enfatiza a importância da educação na criação de um futuro sustentável, afirmando que “toda educação é educação ambiental”. Ao integrar práticas sustentáveis no ambiente escolar, estamos

nutrindo cidadãos ambientalmente conscientes e capacitando-os com o conhecimento e as habilidades necessárias para enfrentar os desafios globais (Orr, 2004).

O conceito de resiliência ressoa com o trabalho de Johan Rockström e seus colegas sobre fronteiras planetárias. Rockström argumenta que devemos agir dentro de um espaço operacional seguro para a humanidade, garantindo que nossas ações não forcem os sistemas da Terra além de seus limites. Ao adotar alternativas sustentáveis e estratégias abrangentes de gerenciamento de resíduos, as escolas contribuem para permanecer dentro desses limites planetários, salvaguardando a resiliência e a viabilidade de longo prazo, tanto delas próprias, quanto dos demais elementos que as circundam (Rockström *et al.*, 2013).

A noção de equidade social se alinha com o trabalho da economista Elinor Ostrom, que enfatiza a importância da ação coletiva e da governança baseada na comunidade para enfrentar os desafios comuns de gerenciamento dos recursos. Ao envolver alunos, funcionários e a comunidade geral em iniciativas de sustentabilidade, as escolas criam oportunidades de colaboração e capacitam os indivíduos a se tornarem participantes ativos no processo de tomada de decisão. Isso promove um senso de propriedade, equidade e responsabilidade compartilhada, levando a práticas sustentáveis mais eficazes e inclusivas (Ostrom, 1999).

Igualmente, a adoção de práticas sustentáveis nas escolas ressoa com o conceito de educação transformadora, defendido por Arjen Wals. Para esse professor, a educação não deve apenas informar, mas também transformar os indivíduos, permitindo-lhes desafiar os paradigmas insustentáveis dominantes e vislumbrar futuros alternativos. Ao integrar princípios de sustentabilidade no ambiente escolar, estamos promovendo o pensamento crítico, nutrindo um senso de agência e inspirando os alunos a se tornarem agentes de mudança em suas próprias vidas e comunidades (Wals, 2009).

Além desses, a abordagem holística da sustentabilidade nas escolas reflete os princípios da Carta da Terra. A Carta da Terra enfatiza a interconexão da proteção ambiental, justiça social e desenvolvimento sustentável. Ao promover alternativas sustentáveis, redução de resíduos e envolvimento da comunidade, as escolas incorporam os princípios da Carta da Terra, criando um ambiente de aprendizagem que valoriza a integridade ecológica, a equidade social e um futuro justo e sustentável para todos (Unesco, 2002).

Nessa abordagem histórica, as Instituições de Ensino emergiram como líderes globais na adoção de práticas ambientalmente sustentáveis, fazendo contribuições significativas não apenas para a formação acadêmica, mas também para o desenvolvimento sustentável. A adoção de diretrizes de gestão sustentável por essas instituições reforça seu compromisso com a promoção de um futuro mais verde. A arena global oferece informações valiosas sobre as melhores práticas e os desafios enfrentados por instituições em todo o mundo. Acordos e declarações internacionais têm desempenhado um papel fundamental na formação de esforços de sustentabilidade no ensino.

A Declaração de *Talloires*, assinada por mais de 350 reitores de universidades de mais de 40 países em 1990, é um dos documentos fundamentais que formalizam o compromisso com a sustentabilidade ambiental no ambiente educacional (Unesco, 1990). A Declaração de *Halifax*, assinada em 1991, enfatizou o papel das escolas na elaboração de políticas e ações voltadas para a sustentabilidade (Lester Pearson Institute for International Development, 1992). Da mesma forma, a Declaração de Swansea, que surgiu de uma reunião de mais de 400 universidades de 47 países em 1993, inspirou-se em Talloires e Halifax ao abordar a necessidade de participação ativa no desenvolvimento sustentável (The Swansea Declaration, 1993).

Organizações e iniciativas internacionais também têm desempenhado um papel crucial na promoção da sustentabilidade, principalmente no ensino superior. O estabelecimento da Organização Internacional de Universidades para o Desenvolvimento Sustentável e o Meio Ambiente, em 1995, e o lançamento da Parceria Global de Educação Superior para a Sustentabilidade (GHESP), em 2000, constituem marcos significativos nessa jornada (Ojudsma, 2002). A declaração das Nações Unidas da Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável, em 2005, e o estabelecimento da iniciativa Princípios para a Educação em Gestão Responsável (PRME), em 2007, enfatizaram esse compromisso da educação com a sustentabilidade (Termignoni, 2012). A Europa, em particular, tem estado na vanguarda das iniciativas de sustentabilidade nas escolas. O projeto Ecocampus, iniciado em 2006, introduziu um sistema de gestão ambiental destinado a reconhecer e a promover práticas sustentáveis em instituições de ensino superior (Blewitt, 2001), e tem permitido o reconhecimento e certificação de faculdades e universidades por seus esforços em sustentabilidade ambiental.

Analisando pesquisas internacionais, o *International Journal of Sustainability in Higher Education* (IJSHE) surge como uma publicação significativa na divulgação de pesquisas, estudos e projetos relacionados à sustentabilidade em instituições de ensino globalmente. A revista tem sido fundamental para o avanço da pesquisa neste campo, com numerosos estudos que abordam práticas de sustentabilidade ambiental em todo o mundo. Por exemplo, Zhao e Zou (2015) realizaram um estudo de caso sobre iniciativas verdes na Universidade de Tsinghua, na China. Por meio de observação participante e da análise de documentos, destacaram o compromisso da universidade com os princípios da universidade verde, que englobava educação verde, pesquisa e práticas no *campus* (Zhao & Zou, 2015). Lo (2015) realizou um estudo de caso múltiplo, investigando as motivações e os desafios da criação de *campi* sustentáveis. O estudo enfatizou o papel das pressões governamentais e financeiras, bem como a importância de envolver os alunos na governança da sustentabilidade (Lo, 2015). Da mesma forma, Wu *et al.* (2018) exploraram a sustentabilidade nos currículos do ensino superior em toda a Ásia. A análise de conteúdo revelou a necessidade de as universidades asiáticas integrarem uma dimensão internacional e promoverem uma educação sustentável por meio de uma maior variedade de canais.

León-Fernández e Domínguez-Vilches (2015) examinaram tendências na implementação de iniciativas de gestão ambiental e sustentabilidade em universidades espanholas. Eles analisaram informações da internet e dados coletados de questionários, revelando que o sistema universitário espanhol se alinha às tendências internacionais com estruturas de trabalho permanentes e ferramentas de gestão ambiental (León-Fernández e Domínguez-Vilches, 2015). Em outra pesquisa europeia, Vagnoni e Cavicchi (2015) exploraram qualitativamente as práticas sustentáveis em universidades públicas italianas, destacando a natureza fragmentada das ações e enfatizando a importância do alinhamento com as agendas internacionais.

Em territórios Norte-Americanos, White (2014) focou em planos integrativos para a sustentabilidade em *campi* norte-americanos. Ao examinar planos de várias instituições, identificou a natureza diversa destes e a ênfase predominante nos fatores ambientais sobre os aspectos sociais. Sayed e Asmuss (2013) em estudo na Universidade de Saskatchewan, no Canadá, identificaram áreas-chave para melhorar o desempenho da sustentabilidade. Também enfatizaram a importância de integrar a sustentabilidade no ensino, pesquisa, operações, governança e participação da comunidade. Ainda no Canadá, Mitchell (2011)

concentrou-se na preparação do *campus* principal da Brock University para uma auditoria de sustentabilidade. A pesquisa demonstrou várias iniciativas incorporadas, incluindo uma usina de cogeração e a construção de edifícios ecologicamente corretos. Já Fonseca *et al.* (2011) examinaram relatórios de sustentabilidade no setor de ensino superior do país, explorando práticas e padrões de relatórios dentro da estrutura da *Global Reporting Initiative* (GRI).

No Brasil, por sua vez, Palma *et al.* (2011) investigaram a presença de disciplinas relacionadas à sustentabilidade nos cursos de Administração de universidades federais brasileiras. A pesquisa destacou a necessidade de aumentar a oferta da sustentabilidade como abordagem curricular. Já Pereira *et al.* (2014), ao examinarem a relação entre as práticas de gestão ambiental e o “esverdeamento” da cultura organizacional na Universidade de São Paulo (USP) no Brasil, revelaram a influência da burocracia e da hierarquia universitária no escopo limitado das práticas de gestão ambiental. No país, a sustentabilidade ambiental tem ganhado significativa atenção nos currículos estudantis nos últimos anos (Termignoni, 2012). Com o aumento da conscientização sobre as questões ambientais e a necessidade de práticas sustentáveis, as instituições de ensino têm procurado aumentar seu engajamento em iniciativas para promover a sustentabilidade nos espaços de aprendizagem (León-Fernández & Domínguez-Vilches, 2015; Zhao & Zou, 2015). O Brasil tem presenciado o estabelecimento de diversas iniciativas e organizações dedicadas à promoção da sustentabilidade, como, por exemplo, a *Global Higher Education for Sustainability Partnership* (GHESP), lançada em 2000, que fornece uma plataforma para colaboração e compartilhamento de conhecimento entre instituições de ensino e suas contrapartes internacionais (Termignoni, 2012).

A conservação de energia e água, gestão de resíduos, preservação da biodiversidade e envolvimento da comunidade são as áreas que têm sido mais abordadas nos currículos e nas agendas de pesquisa das instituições de ensino brasileiras (Fonseca *et al.*, 2011; Sayed & Asmuss, 2013). Além dessas, há uma ênfase crescente na colaboração interdisciplinar e parcerias entre escolas, agências governamentais, ONGs e partes interessadas da indústria para enfrentar os desafios da sustentabilidade no Brasil (León-Fernández & Domínguez-Vilches, 2015; Zhao & Zou, 2015). Esses esforços colaborativos visam alavancar recursos, conhecimentos e soluções inovadoras para impulsionar as iniciativas de sustentabilidade.

No geral, as literaturas nacionais e internacionais sobre sustentabilidade em ambientes de ensino demonstram a ampla gama de tópicos, incluindo educação ambiental, pesquisa, iniciativas de *campus* verde, planos e relatórios de sustentabilidade. Com base nessas experiências, as instituições obtêm informações valiosas sobre tendências globais, melhores práticas e possíveis desafios, permitindo-lhes aprimorar seus próprios esforços de sustentabilidade e contribuir para o movimento global de sustentabilidade mais amplo.

Assim, ao abraçar a sustentabilidade, as instituições educacionais demonstram sua dedicação em abrir caminho para um futuro mais resiliente e inclusivo. Por meio de esforços abrangentes, que vão além dos limites da educação tradicional, é possível inculcar em toda a comunidade acadêmica um senso profundamente enraizado de gestão ambiental. Ao integrar a sustentabilidade em vários aspectos da experiência de aprendizado, como desenvolvimento de currículo, operações do *campus* e envolvimento da comunidade, as escolas criam um terreno fértil para nutrir uma geração de indivíduos ambientalmente conscientes, equipados com o conhecimento, habilidades e mentalidades necessárias para mudanças positivas, não apenas em suas comunidades imediatas, mas também em escala global.

Ao nutrir cidadãos ambientalmente conscientes e equipá-los com as ferramentas para efetuar mudanças, essas instituições educacionais nos impulsionam para um futuro em que a integridade ecológica, a equidade social e o desenvolvimento sustentável coexistam harmoniosamente. Por meio de experiências do mundo real, projetos interdisciplinares e colaboração com as comunidades locais, cria-se um ambiente de aprendizado dinâmico e transformador que serve como plataforma poderosa para cultivar um senso coletivo de responsabilidade. À medida que continuamos a aproveitar o poder da educação para enfrentar os desafios da sustentabilidade, liberamos o potencial para uma mudança profunda nos valores e comportamentos da sociedade.

Conceitos ambientais aproximados pela prática: a experiência do IFMG, *campus* Bambuí

No âmbito da educação para a sustentabilidade, a aplicação prática dos conceitos ambientais assume um papel primordial na promoção de uma compre-

ensão abrangente e na capacitação de indivíduos para mudanças tangíveis. Destacamos o exemplo do *Campus Bambuí* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), que abraçou essa abordagem por meio de um repertório de iniciativas inovadoras, oportunidades de aprendizado experiencial e parcerias colaborativas com as comunidades locais. Da implementação de projetos de agricultura regenerativa à busca de iniciativas de energia renovável, exploramos o profundo impacto do aprendizado experimental, revelando o potencial transformador que ele desencadeou sobre alunos, professores e a comunidade em geral.

Esta seção examina, particularmente, o engajamento prático iniciado em agosto de 2016 junto aos usuários da Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) do IFMG, *Campus Bambuí*, para a completa substituição dos copos descartáveis e o uso racional de canecas reutilizáveis no refeitório. Na ocasião, um breve inquérito, realizado no segundo semestre, demonstrou elevado número de copos plásticos descartados (Tabela 1), cuja projeção anual, alcança um volume de quase 60.000 copos plásticos utilizados no setor e a urgência de medidas necessárias.

Tabela 1 – Volume de copos de plásticos, descartados após o uso na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG, *Campus Bambuí*, de agosto a dezembro de 2016.

Meses/Refeição	Almoço	Jantar	Total
Agosto	4800	1064	5864
Setembro	5098	1145	6243
Outubro	6087	1208	7355
Novembro	5997	1007	7004
Dezembro	2347	978	3325
Total	24329	5402	29731

Fonte: As autoras, 2023.

Há outros estudos publicados sobre intervenções destinadas a reduzir o uso de copos descartáveis, com foco na promoção de alternativas reutilizáveis. Os exemplos incluem intervenções implementadas em um *campus* universitário no País de Gales (Poortinga; Whitaker, 2018) e na Austrália (Novoradovskaya *et al.*, 2021). Embora forneçam informações valiosas, não nos sentimos confortáveis em comparar os dados, pois é importante observar que seus resultados podem não ser diretamente aplicáveis a outros contextos estudantis, porque não foram projetados

com uma compreensão abrangente das barreiras e dos facilitadores específicos para a adoção de copos reutilizáveis em cada ambiente respectivamente.

A partir desses dados, iniciamos a ação de conscientização para a eliminação do uso de copos descartáveis e, após um trabalho junto à direção, que custeou a compra de canecas reutilizáveis (Fig.1) em número suficiente para todos os integrantes da comunidade acadêmica, e com perspectiva de ingressantes para o ano seguinte. Assim, em junho de 2019, observou-se a completa substituição dos copos descartáveis no *campus*, contribuindo para uma efetiva mudança na realidade local.

Figura 1 – Canecas reutilizáveis prontas para a distribuição aos usuários do restaurante, IFMG Campus Bambuí.



Fonte: As autoras, 2019.

A exploração de iniciativas ambientais em Instituições de Ensino fornece informações valiosas sobre o cenário global de práticas sustentáveis. Este relato lançou luz sobre um perfil de pesquisa, enfatizando a importância de entender as tendências locais. A diversidade de estudos de diferentes regiões pode oferecer lições valiosas e melhores práticas para as escolas no Brasil, incentivando-as a se alinharem às agendas internacionais e impulsionarem mudanças. Ao promover a colaboração, a troca de conhecimento e o aprendizado com experiências, as escolas podem criar ambientes escolares mais atualizados, integrar tais conceitos aos currículos e promover a conscientização ambiental. Essa abordagem interdisciplinar e transcultural contribuirá para o avanço de práticas, facilitando uma transição coletiva para um futuro mais sustentável.

Reduzir o desperdício e promover práticas sustentáveis tornou-se crucial em nosso mundo moderno atual (Antón-Peset *et al.*, 2021). Nesse contexto, o Restaurante IFMG, *Campus Bambuí*, oferece o exemplo, demonstrando como

soluções ambientalmente conscientes podem ser implementadas em estabelecimentos de alimentação escolar. A substituição de copos descartáveis por canecas reutilizáveis é uma estratégia eficaz para reduzir o desperdício e fomentar uma cultura de sustentabilidade (Novorodovskaya *et al.*, 2021). Essa postura, além de minimizar o impacto ambiental, conscientiza sobre a importância da adoção de práticas responsáveis, servindo como recurso educacional, a partir do exemplo. Aprofundar-se nos princípios deste recurso permite uma melhor compreensão de seus fundamentos subjacentes e da sua relevância na promoção da sustentabilidade. Tal compreensão aprimorada permite uma tomada de decisão e fortalece o senso de poder para fazer escolhas responsáveis.

Ao adotar os princípios dessa solução ambientalmente consciente, o *campus* Bambuí mostra como ações sustentáveis podem gerar efeitos-cascata positivos. Além da redução de resíduos, a iniciativa promove uma maior compreensão da interconexão das questões ambientais e incentiva o pensamento inovador para abordá-las. A eficácia reside não apenas em seu impacto direto na redução de resíduos, mas também em seu potencial de escalabilidade (Horan, 2022). As lições aprendidas com a experiência podem inspirar outras instituições a adotar práticas semelhantes e ampliar o alcance de iniciativas sustentáveis. Isso porque a educação e a conscientização desempenham papel crucial na formação de comportamentos sustentáveis (Gatersleben *et al.*, 2017), sendo esperado que não só haja redução do desperdício, como também conscientização dos usuários sobre a importância de escolhas sustentáveis, fomentando uma cultura de responsabilidade ambiental.

Considerações finais

O exemplo de sustentabilidade implementado pelo *Campus* Bambuí, particularmente a transição de copos descartáveis para canecas reutilizáveis, serve como uma representação tangível de uma tendência global em direção ao consumo consciente. Seja na conservação de recursos, na redução de resíduos, ou em questões mais amplas como as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade, os problemas que surgem em um canto do mundo repercutem em outro. E ações como essa ilustram a interconexão global. Ao abordar o consumo de copos descartáveis em seu restaurante escolar, o *campus* não apenas resolveu um problema local, mas também contribuiu para um movimento global de redução de resíduos plásticos.

O objetivo mais amplo da sustentabilidade é criar um mundo onde o desenvolvimento humano e a integridade ecológica coexistam. Esse mundo visualizado não é apenas ecologicamente equilibrado, mas também socialmente justo e economicamente viável. É um mundo onde cada decisão, grande ou pequena, é informada por uma consideração de seus impactos em longo prazo e de seu lugar dentro do ecossistema global. É neste contexto que a iniciativa do *Campus Bambuí* adquire uma relevância ainda maior. Sua ação serve como um lembrete de que cada esforço conta que a mudança começa no nível local e que os esforços individuais, quando somados, têm o potencial de criar ondas de mudança.

Assim, concluímos que o exemplo aqui exposto se estende muito além de suas próprias fronteiras. Sua abordagem nos lembra de que, enquanto enfrentamos desafios que são verdadeiramente globais em escala, a solução começa com ações locais, conscientes e deliberadas. E, à medida que essas ações se multiplicam, elas nos aproximam de um futuro global mais sustentável, justo e equilibrado.

Referências

ALLWOOD, J.; ASHBY, M.; GUTOWSKI, T.; WORRELL, E. Material efficiency: A white paper. **Resources, Conservation and Recycling**. 55. 362-381. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.002>.

ANTÓN-PESET, A.; FERNANDEZ-ZAMUDIO, M.A; PINA, T. Promoting Food Waste Reduction at Primary Schools. A Case Study. **Sustainability** 13, no. 2: 600.2021. <https://doi.org/10.3390/su13020600>

ASSOCIATION OF COMMONWEALTH UNIVERSITIES. **The Swansea Declaration**. Swansea, ago. 1993. Disponível em: <http://www.iisd.org/educate/declarat/swansea.html>. Acesso em: 4 ago. 2023.

AVIO, C. G. *et al.* Plastics and microplastics in the oceans: from emerging pollutants to emerged threat. **Marine Environmental Research**, v. 128, p. 1-10, jul. 2016.

BAILEY, D. H. Persistence and fade-out of educational-intervention effects: mechanisms and potential solutions. **American Psychological Society**, v. 21, n. 2, p. 55-97, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/1529100620915848>.

BLEWITT, J. **Good practice in sustainable development education: evaluation report and good practice guide**. UK: LSDA, 2001. Disponível em: <http://www.lsd.org.uk/research/sustainability/goodpractice.pdf>. Acesso em: 15 maio 2005.

BUSCH, K. C.; HENDERSON, J. A.; STEVENSON, K. T. Expanding epistemologies and methodologies in research on climate change education. **Environmental Education Research**, v. 25, n. 6, p. 955-971, 2019.

SCHIEFER, D.; VANDERN. The essentials of social cohesion: a literature review. **Social Indicators Research**, v. 132, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-016-1314-5>.

DEFRA. **Waste strategy for England**. Norwich, UK, 2007. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/228536/7086.pdf. Acesso em: 18 jul. 2019.

EVERARD, M.; REED, M.; KENTER, J. The ripple effect: institutionalising pro-environmental values to shift societal norms and behaviours. **Ecosystem Services**, v. 21, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.08.001>.

FONSECA, A.; MACDONALD, A.; DANDY, E.; VALENTI, P. The state of sustainability reporting at Canadian universities. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 12, n. 1, p. 22-40, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1108/14676371111098285>.

GALLARDO, V.; CABIGAN, M. Shared responsibility of school community towards performance in the district of Santa Cruz. **International Journal of Research Publications**, v. 123, 2023. DOI: <https://doi.org/10.47119/IJRP1001231420234679>.

GATERSLEBEN, B.; MURTAGH, N.; CHERRY, M.; WATKINS, M. Moral, wasteful, frugal, or thrifty? Identifying consumer identities to understand and manage pro-environmental behavior. **Environment and Behavior**, v. 51, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1177/0013916517733782>.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, p. 25-29, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.

HAINES, A.; EBI, K. The imperative for climate action to protect health. **New England Journal of Medicine**, v. 380, n. 3, p. 263-273, 2019. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMra1807873>. Acesso em: 20 jan. 2021.

HORAN, D. Towards a portfolio approach: partnerships for sustainable transformations. **Global Policy**, v. 13, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1758-5899.160170>.

KOELMANS, A. A. *et al.* Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality. **Water Research**, v. 155, p. 410-422, 2019.

LEON, Y.; DOMINGUEZ-VILCHES, E. Environmental management and sustainability in higher education: the case of Spanish universities. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 16, p. 440-455, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2013-0084>.

LESTER PEARSON INSTITUTE FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT. **Creating a common future: proceedings of the conference on university action for sustainable development**. Halifax: Atlantic Nova Print, 1992.

LI, J. *et al.* Microplastics in mussels along the coastal waters of China. **Environmental Pollution**, v. 214, p. 177-184, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.012>.

LINNENLUECKE, M. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. **Australian Journal of Management**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/0312896219877678>.

LO, A. Y. Political ambiguity in Chinese climate change discourses. **Environmental Values**, v. 24, n. 6, p. 755-776, 2015.

MITCHELL, R. C. Sustaining change on a Canadian campus: preparing Brock University for a sustainability audit. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 12, n. 1, p. 7-21, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1108/14676371111098276>.

NOVORADOVSKAYA, E.; MULLAN, B.; HASKING, P.; UREN, H. V. My cup of tea: behaviour change intervention to promote use of reusable hot drink cups. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124675>.

OIUDSMA – **Organización Internacional de Universidades por el Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**. 2002. Disponível em: <http://www.ugr.es/~oiudsma/Welcome.htm>. Acesso em: 10 abr. 2025.

ORR, D. W. **Earth in mind: on education, environment, and the human prospect**. Washington, DC: Island Press, 2004.

OSTROM, E. **Self-governance and forest resources**. Bogor, Indonesia: Cifor, v. 15, 1999.

PALMA, L. C.; OLIVEIRA, L. M.; VIACAVA, K. R. Sustainability in Brazilian federal universities. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1108/14676371111148036>.

PEREIRA, G. S. M.; JABBOUR, C.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; TEIXEIRA, A. A. Greening the campus of a Brazilian university: cultural challenges. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 15, n. 1, p. 34-47, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2011-0067>.

POORTINGA, W.; WHITAKER, L. Promoting the use of reusable coffee cups through environmental messaging, the provision of alternatives and financial incentives. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 873, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030873>.

ROCKSTRÖM, J. *et al.* **Sustainable development and planetary boundaries. Sustainable Development Solutions Network Report for the UN High-Level Panel of Eminent Persons on the Post-2015 Development Agenda**, 2013.

SAYED, A.; ASMUSS, M. Benchmarking tools for assessing and tracking sustainability in higher educational institutions: identifying an effective tool for the University of Saskatchewan. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 14, n. 4, p. 449-465, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-08-2011-0052>.

SCHWANITZ, V. J.; LONGDEN, T.; KNOPF, B.; CAPROS, P. The implications of initiating immediate climate change mitigation: a potential for co-benefits? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 90, p. 166-177, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.01.003>.

SHEN, M. *et al.* Removal of microplastics via drinking water treatment: current knowledge and future directions. **Chemosphere**, v. 251, p. 126612, 2020.

SUMAN, T. Y. *et al.* Acute and chronic effects of polystyrene microplastics on brine shrimp: first evidence highlighting the molecular mechanism through transcriptome analysis. **Journal of Hazardous Materials**, v. 400, p. 123220, 2020.

TERMIGNONI, L. D. **Framework de sustentabilidade para instituições de ensino superior comunitárias**. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

THE SWANSEA DECLARATION. 1993. Disponível em: <http://www.iisd.org/educate/declarat/swansea.html>. Acesso em: 4 ago. 2016.

TOSI, P. H. *et al.* Término do uso de copos plásticos nas refeições da Unicamp. **Ciências do Ambiente - Unicamp Estudos**, Campinas, 2013.

UNESCO. **A carta da terra. Pensamento e Realidade**, v. 11, n. 1, p. 125-135, 2002. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/43823/a-carta-da-terra/i/pt-br>. Acesso em: 10 jan. 2021.

UNESCO. **The Talloires Declaration**. 1990. Disponível em: http://www.ulsf.org/programs_tallories.html. Acesso em: 4 ago. 2016.

VAGNONI, E.; CAVICCHI, C. An exploratory study of sustainable development at Italian universities. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 16, n. 2, p. 217-236, 2015.

VERLIE, B. Bearing worlds: learning to live-with climate change. **Environmental Education Research**, v. 25, n. 5, p. 751-766, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504622.2019.1637823>.

WALS, A. **Social learning towards a sustainable world: principles, perspectives, and praxis**. Wageningen: Wageningen Academic Publishing, 2009.

WHITE, S. S. Campus sustainability plans in the United States: where, what, and how to evaluate? **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 15, n. 2, p. 228-241, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-08-2012-0075>.

WRIGHT, S. L. *et al.* The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 483-492, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>.

WU, J.; GUO, S.; HUANG, H.; LIU, W.; XIANG, Y. Information and communications technologies for sustainable development goals: state-of-the-art, needs and perspectives. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 20, n. 3, p. 2389-2406, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2812301>.

XU, S. *et al.* Microplastics in aquatic environments: occurrence, accumulation, and biological effects. **Science of the Total Environment**, v. 703, p. 134699, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134699>.

ZHAO, W.; ZOU, Y. Green university initiatives in China: a case of Tsinghua University. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 16, p. 491-506, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2014-0021>.

PARTE II – GESTÃO DE RESÍDUOS E ESTRATÉGIAS DE VALORIZAÇÃO

Os capítulos desta seção tratam de uma consequência inevitável da atividade humana: o desperdício. Das operações florestais à produção de óleo de palma, o desperdício é um subproduto sempre presente. Mas, conforme ratificado nos capítulos, a história do resíduo não precisa terminar no aterro. Por meio do planejamento estratégico espaço-temporal, bem como de tecnologias inovadoras, como a de biorrefinaria, podemos transformar a narrativa dos resíduos, de um problema em um recurso. Esses estudos se aprofundarão nas complexidades e nas oportunidades associadas ao gerenciamento e à recuperação de resíduos e como essas estratégias podem contribuir para uma economia circular.

Os dois primeiros visam abordar diferentes tecnologias e estratégias para a solução da problemática referente à disposição final aos resíduos sólidos urbanos. Para tanto, foi utilizado como estudo de caso o município de Florestal – MG, que possui aproximadamente 7 mil habitantes, e está localizado na região Metropolitana de Belo Horizonte – distante cerca de 60km da capital. Destaca-se que diversos municípios de pequeno porte¹ – como o abordado no estudo de caso – apresentam grandes problemas de gestão de resíduos sólidos, realizando o descarte de forma inadequada e, com isso, ocasionando prejuízos para a saúde pública e prejuízos ao meio ambiente.

¹ Sabendo-se que 4.910 dos 5.570 municípios brasileiros, ou seja, 88,15% deles, são de pequeno porte (até 50 mil habitantes IBGE, 2017), a temática abordada nos Capítulos pode retratar a realidade da maioria das cidades de Minas Gerais e do Brasil.

ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE FLORESTAL/MG

Mariana Gontijo

Luís Valarini Filho

Shirley Soares de Oliveira

Hygor Aristides Victor Rossoni

Jairo Rodrigues Silva

Apresentação

Neste capítulo, buscou-se realizar uma análise espacial e temporal da disposição final de resíduos sólidos utilizando imagens de satélite dos anos 2012, 2015, 2017 e 2021, por meio de ferramentas de Geoprocessamento. Nesse sentido, foi constatado o aumento significativo da área de aterramento, com tendência de crescimento anual. Cabe destacar que o local é operado sem as devidas técnicas de engenharia, além de estar inserido totalmente em Área de Proteção Ecológica (APE). Além disso, a tendência de crescimento da área apresenta potencial de aumento dos impactos ambientais, sociais, econômicos e de saúde pública devido à operação inadequada. Por fim, espera-se que tais informações contribuam com o poder executivo municipais no planejamento de ações para melhoria da gestão dos resíduos sólidos.

Introdução

O manejo inadequado dos resíduos sólidos pode causar diversos impactos negativos, como a poluição do solo, a contaminação de águas e poluição do ar. Além de sérios riscos à saúde pública, principalmente em áreas periféricas em que os descartes irregulares são comuns, expondo a população a enfermidades e contaminações. Dessa forma, o manejo correto de resíduos sólidos constitui parte fundamental da temática de saneamento básico (Brasil, 2021; Gomes *et al.*, 2022).

No Brasil, a maior parte dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) coletados em 2020 seguiu para disposição em aterros sanitários, com 46 milhões de toneladas enviadas para esses locais, superando a marca dos 60% de resíduos coletados que tiveram destinação adequada. Por outro lado, áreas de disposição inadequada, incluindo lixões e aterros controlados, ainda estão em operação e representam quase 40% do total de resíduos coletados (Abrelpe, 2021).

Bastos e Magalhães (2016) definiram os lixões como locais onde os RSU são dispostos diretamente sobre o solo sem nenhuma forma de controle ambiental, enquanto no aterro controlado essa disposição dos resíduos é realizada com um mínimo de controle estabelecido com placas de identificação e sinalização, cercamento e sem presença de catadores de lixo. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Brasil, 2010) e complementada pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (Brasil, 2020), prevê e estabelece prazo de quatro anos para a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos. Embora o prazo inicial tenha expirado em 2014, muitos municípios ainda não cumpriram a determinação legal.

Conforme apontam Fisch *et al.* (2016), as paisagens vêm sendo alteradas tanto por processos naturais quanto antropogênicos, sendo que o crescimento das áreas urbanas demanda políticas de ordenamento. A utilização de ferramentas como mapeamentos permitem um entendimento dos processos e podem embasar um zoneamento ambiental (Siqueira, *et al.*, 2019). O desenvolvimento humano cria uma paisagem modificada, onde os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) contribuem nos estudos e pesquisas dessa temática. As imagens de satélite permitem identificar impactos e transformações ocorridos em um determinado espaço de tempo, o que pode contribuir com ações de planejamento e gestão do território (Fisch *et al.*, 2016).

Nesse contexto, torna-se importante realizar uma análise espacial e temporal da área utilizada pelo município de Florestal/MG para a disposição final de resíduos sólidos, elucidando dados como histórico, tamanho da área, tendência de crescimento, entre outros, que contribuam com o planejamento municipal para solução do problema.

Desenvolvimento

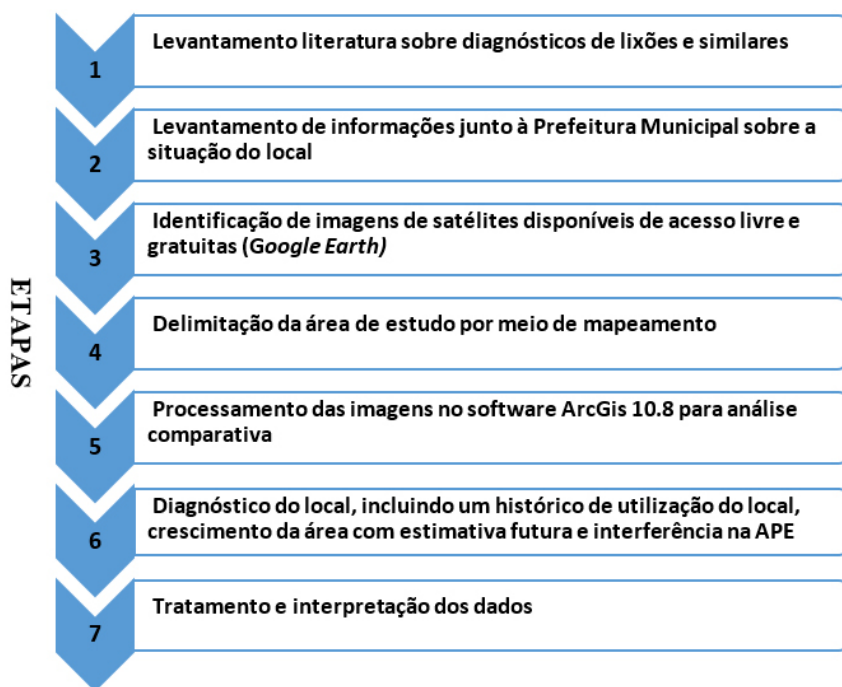
Caracterização da área

De acordo com dados obtidos junto à Prefeitura Municipal de Florestal/MG, o município enfrenta grandes problemas de gestão de resíduos sólidos e, atualmente, realiza a disposição final de forma inadequada, em uma área no próprio município, sem os critérios técnicos necessários. Além dessa problemática, os impactos negativos se acentuam pelo fato de esta área estar situada em área tombada pelo Patrimônio Histórico e reconhecida pelas Leis Municipais nº 293 de 1984 e 605 de 1998 como Área de Preservação Ecológica (APE), baseada na Lei Federal 6.766, de 19 de dezembro de 1979. A Política Florestal e de Proteção a Biodiversidade de Minas Gerais prevê a reavaliação dessas áreas, no todo ou em parte, para enquadrar nas categorias de Unidades de Conservação previstas nesta Lei (Minas Gerais, 2013).

Procedimento e etapas de análise

Para execução do problema, foi definido um delineamento metodológico compreendido de seis etapas, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma com as etapas para a elucidação do problema



Fonte: Os autores, 2022.

A partir dessas etapas, os dados obtidos foram tratados e interpretados por meio de tabelas, figuras, mapas e gráficos, sendo representados por números, percentuais e textos, permitindo a compreensão das informações elucidadas.

Após a análise dos dados obtidos, foi possível compreender a situação atual da disposição final de resíduos do município, e com isso, estimar seu crescimento e consequente aumento de impactos negativos, especialmente a pressão realizada sobre a APE. Tal compreensão poderá contribuir com o poder público municipal para a solução dos problemas.

Diagnóstico situacional sobre a destinação dos resíduos sólidos

Para melhor compreensão da realidade local da área em questão e do atual cenário de envolvimento das políticas públicas municipais diante da situação, foi realizado um encontro virtual com o Secretário Municipal de Meio Ambiente e Agricultura de Florestal/MG² no dia 21/10/2022.

² No momento da reunião virtual a secretaria era representada pelo servidor em cargo comissionado Marco Túlio da Silva Faria.

Nesse encontro, constatou-se que a área está sendo operada sem as devidas técnicas de engenharia e proteção ao meio ambiente, com sérios riscos de poluição ambiental do solo, do ar e dos recursos hídricos. Além disso, o local conta com catadores informais. Observou-se que existe uma vontade política para solução dos problemas, mas com limitações orçamentárias e de recursos humanos por parte da Prefeitura Municipal.

Desse modo, a partir do levantamento das imagens de satélite disponíveis no programa *Google Earth*, selecionou-se aquelas que apresentaram melhor resolução e representaram o crescimento da área, sendo estas correspondentes aos anos 2012, 2015, 2017 e 2021.

Em seguida, foi delimitada a área de estudo correspondente ao local de disposição final de resíduos sólidos de Florestal/MG, utilizando-se a ferramenta de desenho de polígono disponível no programa *Google Earth*, onde foram obtidos os valores de área e perímetro.

Esses polígonos foram traçados a partir da análise visual dos locais com presença de resíduos sólidos existentes nas imagens selecionadas. Na Tabela 1, encontram-se os dados verificados, sendo possível observar o crescimento do polígono e, conseqüentemente, da área do local estudado.

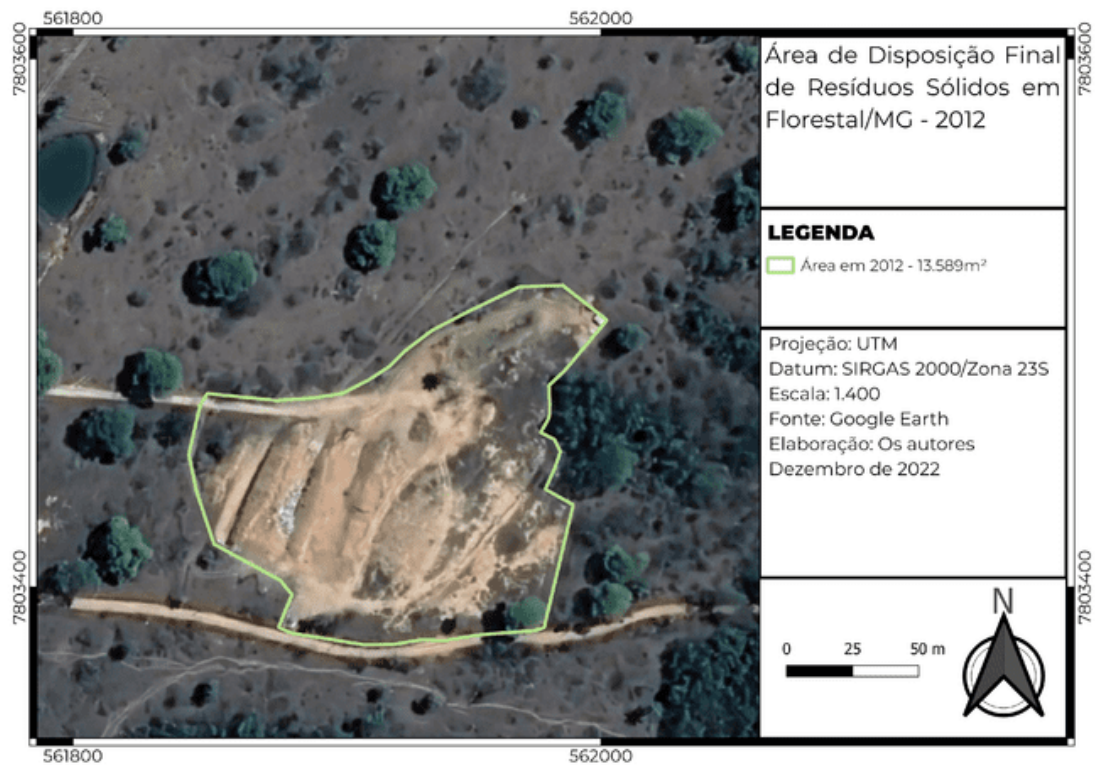
Tabela 1 – Perímetro e polígono da área de estudo

Ano	Área		Perímetro	
	(m ²)	Aumento (%)	rodrigues	Aumento (%)
2012	13.589,00	-	517	-
2015	17.247,00	26,92%	595	15,09%
2017	39.037,00	126,34%	989	66,22%
2021	39.251,00	0,55%	939	-5,06%

Fonte: Os autores, 2022.

Com a utilização do software Arcgis 10.8, as imagens do *Google Earth* foram processadas, resultando nas Figuras de 2 a 5.

Figura 2 – Área de disposição final de resíduos sólidos em Florestal/MG – 2012



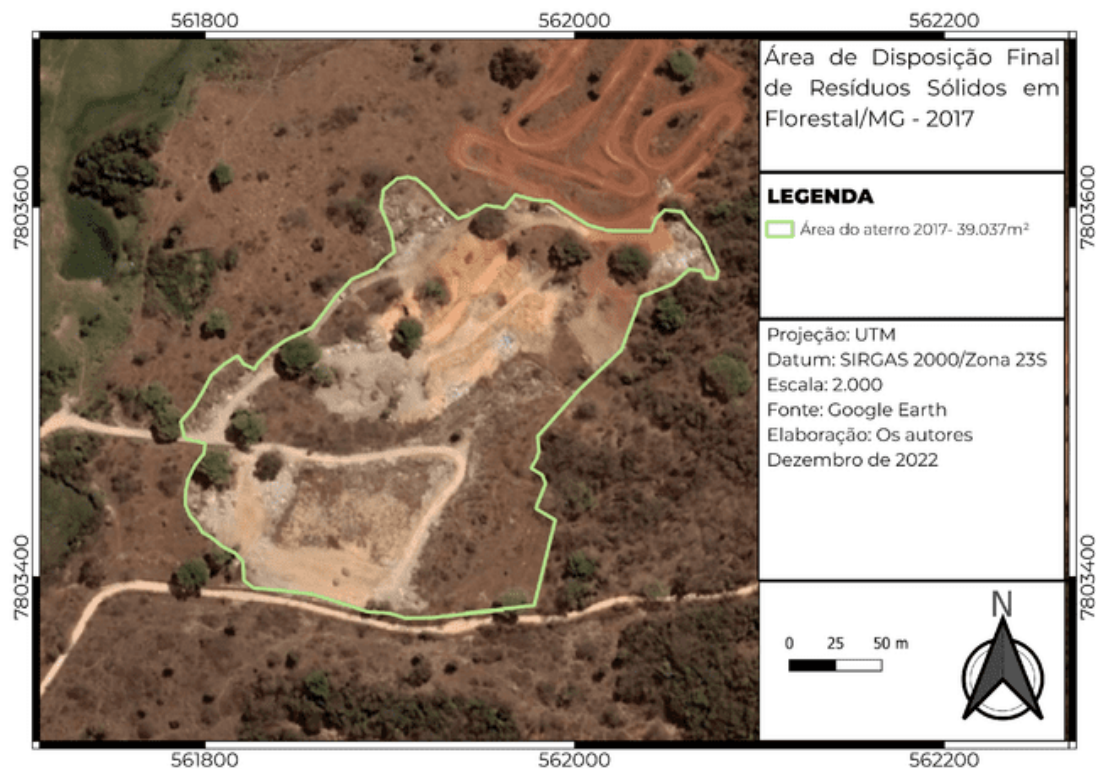
Fonte: Os autores, 2022.

Figura 3 – Área de disposição final de resíduos sólidos em Florestal/MG – 2015



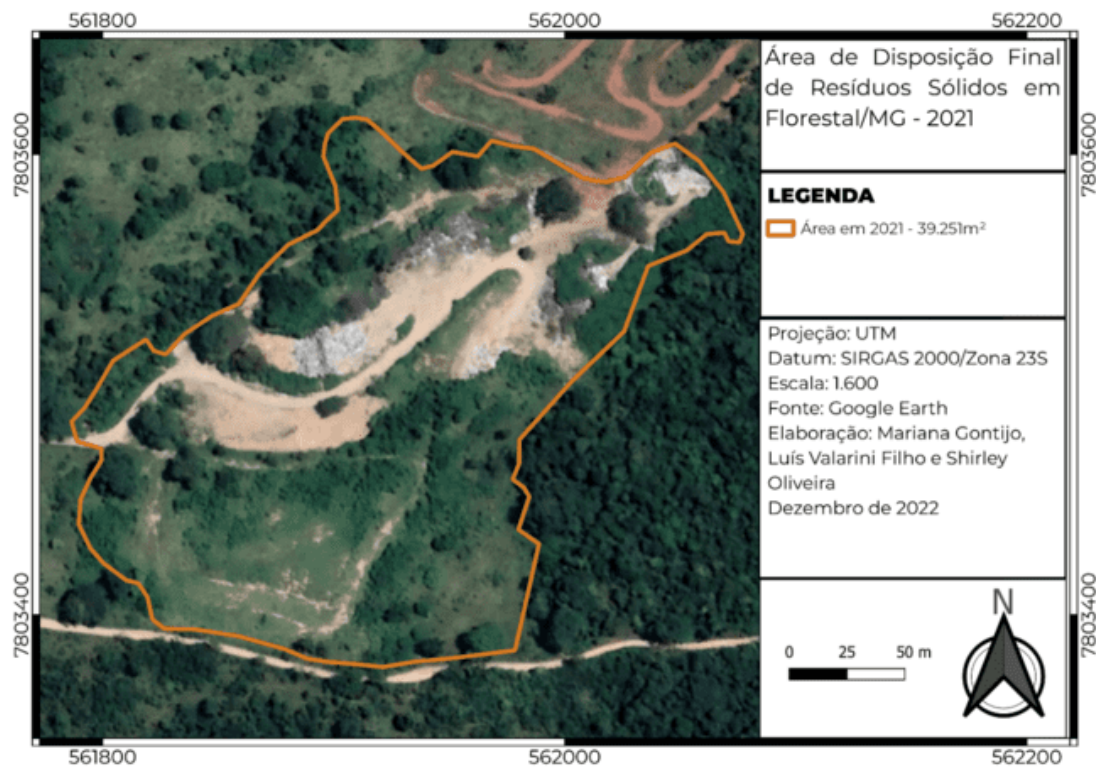
Fonte: Os autores, 2022.

Figura 4 – Área de disposição final de resíduos sólidos em Florestal/MG – 2017



Fonte: Os autores, 2022.

Figura 5 – Área de disposição final de resíduos sólidos em Florestal/MG – 2021



Fonte: Os autores, 2022.

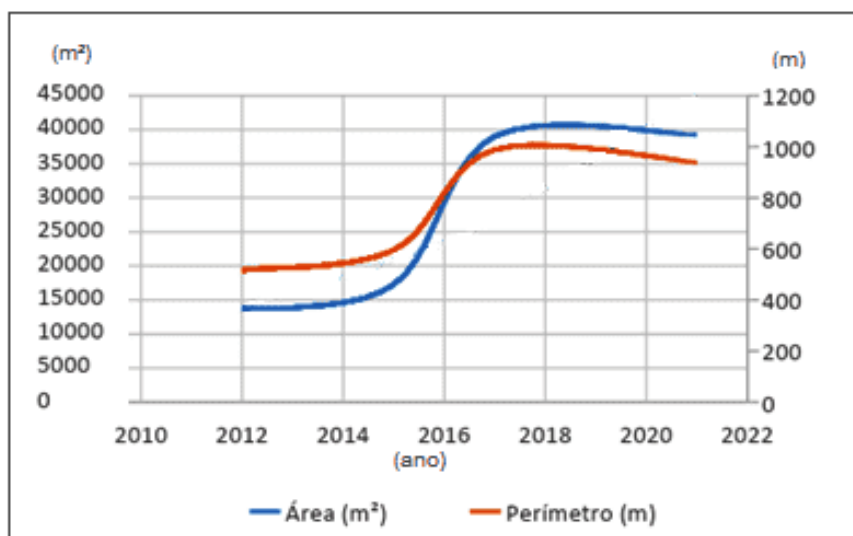
A partir da análise das imagens selecionadas e do processamento dos dados, verificou-se que o local é utilizado para disposição de resíduos há pelo menos 10 anos, considerando que ele já estava em operação na imagem de satélite mais antiga de 26/09/2012, não sendo possível informar ao certo quando essa disposição se iniciou.

Verificou-se também que a área apresentou crescimento de 188,84% de 2012 até 2021, ou seja, quase triplicando a área com presença de resíduos sólidos dispostos, incluindo células/valas encerradas e em operação.

Para estimativa de crescimento, foi elaborado o Gráfico 1, onde constatou-se que a tendência é de um crescimento anual. Nos últimos sete anos, houve um crescimento acentuado da área ocupada, fazendo com que, em 2021, a área ficasse aproximadamente três vezes maior que a área inicialmente analisada em 2012. Nos últimos quatro anos, a área ocupada demonstrou-se com um crescimento menos acentuado, mas percebe-se que, mesmo que discreta, existe uma tendência de que a área continue aumentando. Essa situação pode ser agravada se a população continuar crescendo, conforme histórico do censo do IBGE 2021, que apontou um aumento de 15% da população se comparada com o ano de 2010.

Cabe destacar que, desde 2006, a Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal foi transformada em *Campus* da Universidade Federal de Viçosa, e que, atualmente (2023), disponibiliza mais de 3.000 vagas em cursos técnicos vinculados ao ensino médio, graduação e pós-graduação, representando, com isso, um aumento na demanda por recursos ambientais e por moradia, alterando o desenvolvimento socioeconômico do município.

Gráfico 1 – Evolução do crescimento da área de disposição final de RSU em Florestal – MG



Fonte: Os autores, 2022.

Na Figura 6, buscou-se comparar essa evolução de crescimento da área utilizada para disposição final dos resíduos sólidos, em Florestal – MG.

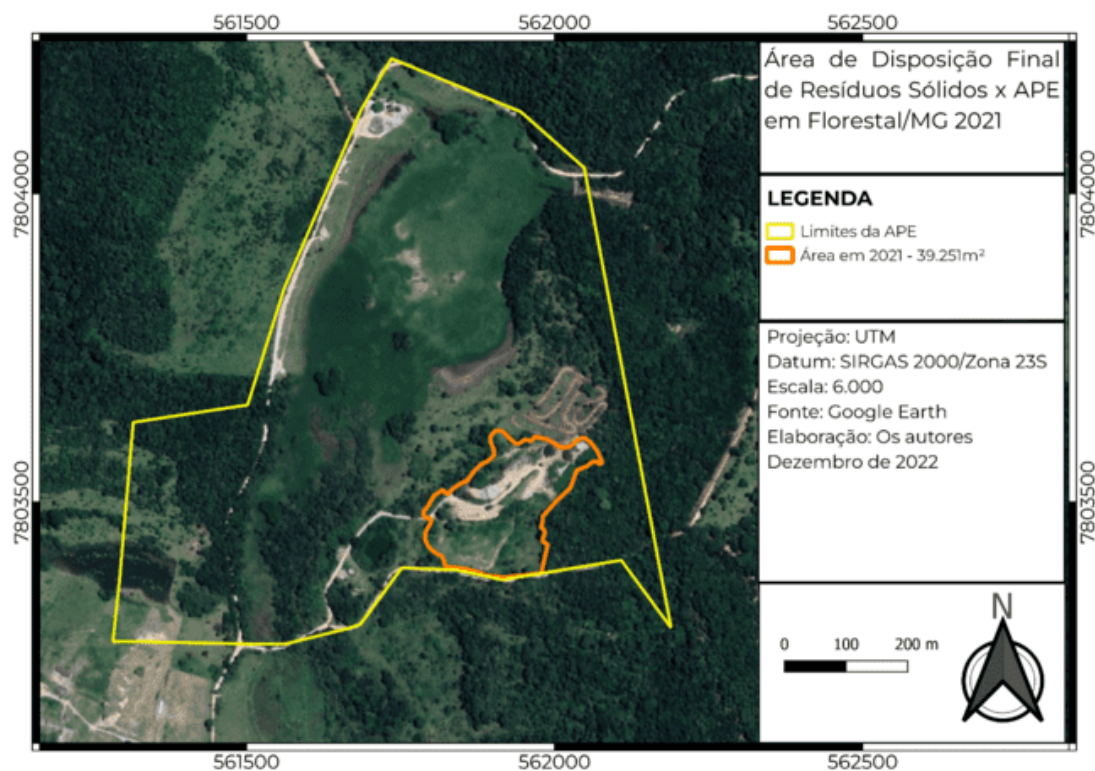
Figura 6 – Mosaico comparativo da área de disposição final de resíduos sólidos em Florestal/MG – 2012 – 2015 -2017 -2021



Fonte: Os autores, 2022.

Delineamento de impactos ambientais da disposição inadequada de resíduos sólidos

Pela análise espacial realizada por meio das imagens de satélite selecionadas e pelos polígonos desenhados, observou-se que o local de disposição final se encontra totalmente inserido na APE, conforme Figura 7.

Figura 7 – Limites da APE Florestal X Área de disposição final de resíduos sólidos

Fonte: Os autores, 2022.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que a área de disposição final de resíduos sólidos apresenta tendência de crescimento anual. Tal fato demonstra a urgência da adoção de medidas para encerramento e recuperação do local, tendo em vista os impactos ambientais negativos intrínsecos à problemática de resíduos sólidos.

Pelo fato da área não ser operada com as devidas técnicas de engenharia e considerando a sua tendência de crescimento, verifica-se potencial de aumento: (1) dos impactos ambientais ligados à poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos; (2) dos impactos sociais ligados à presença de catadores informais no local; (3) dos impactos econômicos ligados aos gastos públicos a serem despendidos para encerramento e recuperação do local; (4) dos problemas de saúde pública ocasionados pela disposição irregular de resíduos sólidos, contribuindo para proliferação de vetores de doenças, e pela poluição ambiental.

A situação é ainda agravada pelo fato de a área de disposição final de resíduos sólidos estar totalmente inserida dentro do perímetro da Área de Preservação Ecológica (APE), com tendência de aumento, caso medidas de gestão não sejam adotadas.

Diante das informações descritas, destaca-se que o conhecimento dos locais onde ocorreu disposição final inadequada de resíduos sólidos, ou seja, do perímetro da área utilizada, permite que seja realizado um planejamento adequado para encerramento e recuperação do local de disposição final.

Potencialidades e ações

Por meio da análise espacial e temporal do local de destinação final de resíduos sólidos do município de Florestal/MG, foi possível demonstrar o crescimento do local ao longo do tempo estudado. Com isso, foi possível descrever o potencial de aumento dos problemas ambientais correlatos à utilização do local sem os critérios técnicos necessários.

Dessa forma, torna-se iminente a necessidade de ações para a solução do problema, especialmente o encerramento e a recuperação da área utilizada atualmente para a disposição dos RS do município.

Esse tipo de análise apresenta potencial de contribuir com o poder executivo municipal no planejamento de ações e na definição de políticas públicas para a melhoria da gestão dos resíduos sólidos. Sugere-se a continuidade do estudo para colaborar com a administração municipal, indicando estratégias de gestão para encerramento e recuperação da área de disposição final de resíduos sólidos em Florestal – MG.

Referências

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. São Paulo – SP. 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/> . Acesso em: 20 set. 2022.

BASTOS, Valeria Pereira; MAGALHÃES, Andrea Oliveira. **LIXÃO DE GRAMACHO: IMPACTOS DO ENCERRAMENTO PARA OS CATADORES**. Temporalis, Brasília, v. 16, n. 31, p. 379-398, 31 ago. 2016. Semestral. Revista Temporalis. Disponível em: <https://doi.org/10.22422/2238-1856.2016v16n31p379-398>. Acesso em: 21 set. 2022.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Parcelamento do solo urbano e dá outras providências**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm. Acesso em: 18 jul. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Roteiro Para Encerramento de Lixões**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/proteger/06.RoteiroParaEncerramentodeLixoes.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Casa Civil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 20 set. 2022.

FERREIRA, R. B.; JUCÁ, J. F. T. Estudo de impacto ambiental e análise de risco ambiental de resíduos sólidos urbanos. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 123-135, 2017.

FISCH, F.; MENEZES, T.; BRANCO, J. **Análise da Paisagem na Região do SACO DA Fazenda, Itajaí/SC Através do Sensoriamento Remoto**. Bol. geogr., Maringá, v. 34, n. 1, p. 96-107, 2016. DOI: 10.4025/bolgeogr.v34i1.25807

GOMES, Érika Romana *et al.* Influência de condições climáticas na composição do biogás gerado no lixão municipal de Juazeiro do Norte – CE. **Revista Dae**, [S.L.], v. 70, n. 237, p. 210-228, 5 jul. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2022.062>. Acesso em: 20 set. 2022.

MINAS GERAIS. **Política Florestal e de Proteção à Biodiversidade**. Lei, nº 20.922 de 16 de outubro de 2013. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>. Acesso: 20 out 2022.

SIQUEIRA, M.; FARIA, K. **Análise da Dinâmica da Paisagem no Município de Rio Verde, Goiás, Brasil: Uma Ferramenta para a Escolha de Áreas Prioritárias para a Conservação**. Soc. Nat. | Uberlândia, MG | v.31 | p.1-20 | 2019 | ISSN 1982-4513

ESTRATÉGIAS DE GESTÃO PARA O ENCERRAMENTO E RECUPERAÇÃO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM FLORESTAL – MG

Luís Valarini Filho

Mariana Gontijo

Shirley Soares de Oliveira

Thiago Felipe de Matos

Jairo Rodrigues Silva

Hygor Aristides Victor Rossoni

Apresentação

Buscando a resolução do problema de gestão de resíduos sólidos, que são descartados em uma área de forma inadequada há alguns anos no município de Florestal/MG, no presente capítulo são apresentadas estratégias para o encerramento e a recuperação da área de disposição final de resíduos sólidos.

A resolução desse problema baseou-se no Roteiro para Encerramento de Lixões, elaborado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) em 2021, que apresenta um conjunto de orientações e de instrumentos práticos ligados à gestão de resíduos sólidos, com ênfase no encerramento de lixões, destacando estratégias comumente aplicadas que potencializam a sustentabilidade das ações, como: I) o envolvimento dos órgãos municipais; II) participação dos órgãos de

controle; III) elaboração dos planos de ação; e IV) outras condutas necessárias ao encerramento de forma adequada ambiental, social e economicamente. O objetivo foi avaliar as ações existentes na gestão municipal para definir estratégias no que tange ao encerramento e recuperação da área de disposição final de Resíduos Sólidos (RS) do município. Com a utilização de imagens de satélite de 2012 a 2021, verificou-se que a área utilizada pelo município para a disposição final de resíduos sólidos possuía tamanho aproximado de 13.589 m² em 2012 e 39,251 m² em 2021 (crescimento de 188,84%).

Com base no Roteiro, foram analisadas e indicadas ações do planejamento de um passo a passo para garantir um processo factível e com benefícios ambientais, sociais, políticos e econômicos para todo o município, além de sete ações estratégicas por parte da gestão municipal que contribuem para a solução do problema.

Introdução

O saneamento compreende o “conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas” (Brasil, 2020).

Dessa forma, o manejo dos resíduos sólidos urbanos é parte do saneamento básico, constituído por atividades como: acondicionamento, coleta, transporte, transbordo, destinação/tratamento e disposição final dos rejeitos. São serviços ligados diretamente à salubridade do meio ambiente e à saúde da população, uma vez que a disposição inadequada desses resíduos pode levar a riscos como poluição do solo, contaminação das águas e poluição do ar (Brasil, 2021; Gomes *et al.*, 2022).

De acordo com dados obtidos da Prefeitura Municipal de Florestal/MG e os dados apresentados na análise temporal do capítulo anterior, o município enfrenta grandes problemas de gestão de resíduos sólidos e atualmente realiza o descarte em uma área de forma inadequada. Esta área vem sendo utilizada há alguns anos e não possui os elementos necessários para a preservação da saúde pública e do meio ambiente.

Capelari *et al.* (2020) afirmam que os lixões podem causar a poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas pelo escoamento superficial ou percolação de lixiviados. Destaca-se o fato de a área ser tombada pelo Patrimônio Histórico

Municipal e reconhecida como Área de Preservação Ecológica (APE) pelas Leis Municipais nº 293 de 1984 e 605 de 1998, baseadas na Lei Federal 6.766, de 19 de dezembro de 1979. A determinação de recategorizar/reavaliar essa área em outra categoria de Unidade de Conservação vem sendo cobrada pelo Ministério Público de Minas Gerais.

Os prazos para encerramento do aterramento inadequado foram estabelecidos seguindo alguns critérios, como o tamanho populacional dos municípios, a condição de serem capitais ou integrarem regiões metropolitanas e a distância da fronteira com países limítrofes. De acordo com esses critérios, foram definidos os prazos expostos no Quadro 1 (Brasil, 2010; Brasil, 2020).

Quadro 1 – Prazos para encerramento do aterramento inadequado

Data limite	Crítérios	Capitais e Municípios
2 de agosto de 2021	Capitais de Estados e Municípios da Região Metropolitana ou Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais	Capitais e Regiões Metropolitanas
2 de agosto de 2022	Municípios com população superior a 100.000 habitantes em 2010 ou próximos a fronteiras limítrofes	Municípios Grandes
2 de agosto de 2023	Municípios com população entre 50.000 e 100.000 habitantes em 2010	Municípios Médios
2 de agosto de 2024	Municípios com população inferior a 50.000 habitantes em 2010	Municípios Pequenos

Fonte: Os autores, 2022.

Nesse contexto apresentado e com base na análise temporal realizada no capítulo anterior, estratégias são necessárias por parte do Poder Público Municipal de Florestal para solucionar o problema. Diversas são as metodologias disponíveis, destacando-se o Roteiro para Encerramento de Lixões, elaborado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) em 2021, que apresenta um conjunto de orientações e de instrumentos práticos ligados à gestão de resíduos sólidos, com ênfase no encerramento de lixões. Destacam-se estratégias comumente aplicadas que potencializam a sustentabilidade das ações, como: o envolvimento dos órgãos municipais, a participação dos órgãos de controle, a elaboração dos planos de ação, dentre outras condutas necessárias ao encerramento de forma adequada ambiental, social e economicamente.

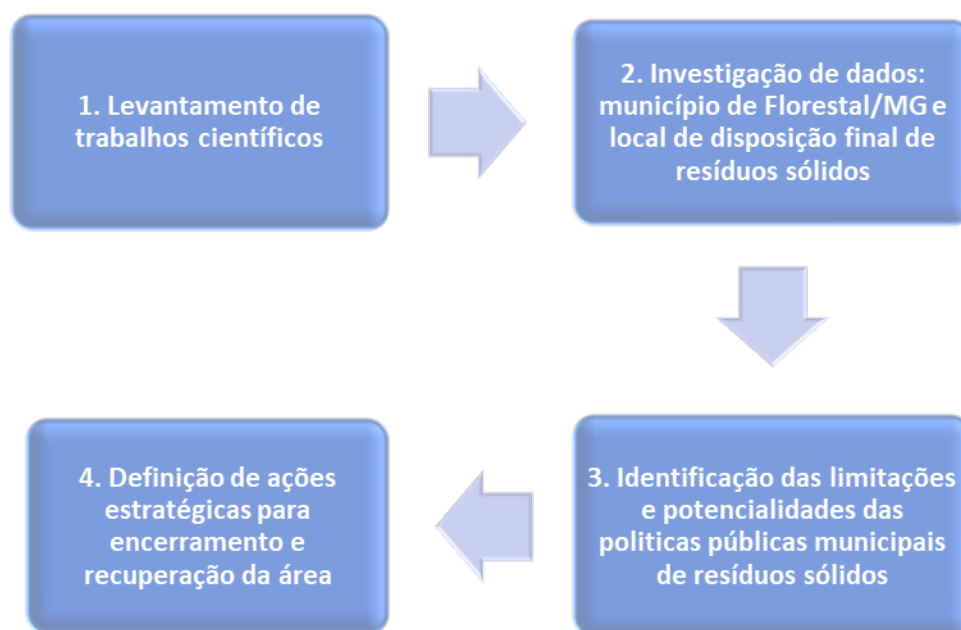
Com base no exposto, busca-se avaliar as ações existentes na gestão municipal para definir estratégias no que tange ao encerramento e recuperação da área de disposição final de resíduos sólidos do município de Florestal – MG.

Desenvolvimento

Aspectos gerais da abordagem tecnológica

Para a proposição da abordagem tecnológica e execução do trabalho em questão, foi realizado o delineamento metodológico compreendido pelas seguintes etapas a serem percorridas, demonstradas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma de execução do trabalho.



Fonte: Os autores, 2022.

Nesse caso, para compor a proposta de ações, optou-se por realizar uma abordagem qualitativa e de estudo de caso (Lakatos e Marconi, 2021), uma vez que foram levantados dados secundários na primeira etapa e dados primários na segunda etapa, incluindo dados fornecidos pela Prefeitura Municipal e visita *in loco*, que permitiram uma avaliação das limitações e das potencialidades com proposição de estratégias para a área em estudo.

Dessa forma, a metodologia foi composta por pesquisa bibliográfica e documental, por meio de consulta a trabalhos científicos sobre gestão de resíduos

sólidos e materiais de órgão públicos, especialmente o documento “Roteiro para Encerramento de Lixões” do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR).

O Roteiro apresenta de maneira clara um passo a passo para garantir um processo factível e com benefícios ambientais, sociais, políticas e econômicos para todo o município, além de sete ações estratégicas por parte da gestão municipal que contribuem para a solução do problema, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Ações estratégicas de gestão

Proposta de ações
1. Coordenação pelo prefeito e envolvimento dos órgãos municipais
2. Participação de órgãos de controle
3. Elaboração de Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos
4. Elaboração do Plano de Ação
5. Coleta seletiva dos resíduos secos e compostagem dos orgânicos
6. Implantação de taxa/tarifa de cobrança pelos serviços prestados
7. Implantação de soluções regionais

Fonte: BRASIL 2021, adaptado pelos autores.

O levantamento de trabalhos científicos sobre encerramento e recuperação de lixões e similares se deu por pesquisa eletrônica em três portais online de pesquisa acadêmica. Foram utilizados alguns critérios na busca para filtrar as publicações mais relevantes e coerentes com este trabalho. Os critérios aplicados para a seleção foram: definição de termos-chave para busca com utilização das palavras-chave; leitura e análise de títulos para baixar os arquivos, selecionando somente aqueles que com o título apresentam afinidade com o tema; eliminação de trabalhos indisponíveis para leitura na íntegra; leitura e análise dos resumos, incluindo apenas aqueles com afinidade ao tema de interesse; e priorização de periódicos clássico e considerados relevantes (Tabela 2).

Tabela 2 – Etapas realizadas para refinamento dos trabalhos encontrados na pesquisa.

Etapas		CAPES Periódicos	Scielo	Google Acadêmico
1	Definição dos termos-chave em português: “encerramento de lixão” “recuperação de lixão” “gerenciamento de resíduos sólidos urbanos” “disposição final de resíduos sólidos” “políticas públicas de resíduos sólidos”	31	29	8
2	Leitura e análise de títulos para baixar os arquivos, selecionando somente aqueles que com o título apresentam afinidade com o tema	25	19	7
3	Eliminação de trabalhos indisponíveis para leitura na íntegra	19	11	5
4	Leitura e análise dos resumos, incluindo apenas aqueles com afinidade ao tema de interesse	12	10	3
5	Priorização de periódicos com classificação igual ou acima de B3	8	9	3

Fonte: Os autores, 2022.

Para a compreensão da realidade local da área em questão e do atual cenário de envolvimento de políticas públicas municipais para a situação, foi realizado um encontro virtual com o Secretário Municipal de Meio Ambiente e Agricultura de Florestal - MG¹.

Os dados obtidos foram tratados e interpretados por meio de tabelas, figuras, mapas e fotos, com números, percentuais e análise comparativa, permitindo a compreensão das informações elucidadas. As propostas de ações para o município consideraram como características o dinamismo, a fluidez e a adaptabilidade — portanto, é necessário que sejam realizados monitoramentos e adaptações à realidade e demandas locais.

Imagens de satélite disponíveis de livre acesso e gratuitas, da área em estudo, foram selecionadas no Google Earth e posteriormente processadas no software ArcGis 10.8 para fins de análise comparativa.

¹ No momento da reunião virtual – realizada no dia 21 de outubro de 2022 – a secretaria era representada pelo servidor em cargo comissionado Marco Túlio da Silva Faria.

Caracterização do local

Visita *in loco* realizada no dia 08/10/2022

Foi constatado que o local não está cercado, não possui identificação visual, apresenta cobertura parcial dos RS, com parte significativa de resíduos espalhados, presença de urubus, moscas e odor, entre outras características. (Figuras 2 a 5). Apesar de o município possuir uma associação de catadores formalizada, no local em questão havia a presença de catadores informais (Figura 5).

Figura 2 – Entrada do local de disposição final de RS



Fonte: Os autores, 2022.

Figura 3 – Vala aberta para aterramento dos RS



Fonte: Os autores, 2022.

Figura 4 – RS dispostos sem cobertura e compactação



Fonte: Os autores, 2022.

Figura 5 – Indicativo de catação informal no local



Fonte: Os autores, 2022.

Nascimento *et al.* (2015) afirmam que houve um aumento da disposição de RS em aterros sanitários no Brasil, mas ainda existem grandes quantidades sendo dispostas inadequadamente, com riscos ao meio ambiente e à sociedade.

Silva *et al.* (2018), informaram que, no ano de 2013, 41,7% dos resíduos sólidos eram depositados em locais inadequados, sendo que, em 2014, essa

parcela foi de 41,6%, com pequena redução. Segundo dados do panorama de Resíduos sólidos Urbanos de 2021 (Minas Gerais, 2021), dos 853 municípios de Minas Gerais, 338 ainda descartam seus resíduos em “lixões”, representando 23% da população urbana.

Análise espacial por meio de geoprocessamento

Dessa forma, objetivando complementar o levantamento de dados do local, foi realizada uma análise espacial utilizando técnicas de geoprocessamento. A utilização de ferramentas como mapeamentos permite um entendimento dos processos e pode embasar um zoneamento ambiental (Siqueira, *et al.*, 2019).

Assim, a partir da utilização de imagens de satélites de 2012 a 2021 disponíveis no programa Google Earth, foi realizado processamento no software Arcgis 10.8, em que se verificou que a área utilizada pelo município para a disposição final de resíduos sólidos possuía tamanho aproximado de 13.589 m² em 2012 e 39.251 m² em 2021 (crescimento de 188,84%), conforme Figura 6. A análise temporal completa foi descrita no capítulo anterior.

Trata-se de informação extremamente importante para as ações de recuperação ambiental da área, permitindo envolver todos os locais que receberam disposição irregular de resíduos sólidos.

Figura 6 – Crescimento da área de disposição final de RS em Florestal/MG – 2012 a 2021



Fonte: Os autores, 2022.

Reunião virtual realizada no dia 21 de outubro de 2022

Conforme descrito no capítulo anterior, foi realizada uma reunião virtual em 21 de outubro de 2022, pela plataforma Google Meet, com o Sr. Marco Túlio da Silva Faria, Secretário de Meio Ambiente e Agricultura de Florestal - MG. Detectou-se que o município não possui um diagnóstico detalhado do local de disposição final de RS. O problema é conhecido de maneira genérica, apesar de um esforço preliminar por parte da Secretaria.

Foram repassados dados operacionais acerca da gestão municipal de RS, sendo: i) a população municipal estimada é de cerca de 7.500 habitantes; ii) estima-se que sejam coletadas cerca de 9 toneladas/dia (ou 200 toneladas/mês) de RS, incluindo área urbana, distritos e localidades maiores na área rural; iii) existe um aterro sanitário operado por empresa particular, localizado no município de Betim/MG, distante cerca de 40 km, com preço de R\$ 129,00 por tonelada de RS a ser aterrado; iv) em Florestal existe a associação de catadores Associação de Triadores de Materiais Recicláveis de Florestal (Astriflores), contando com 12 trabalhadores. A Tabela 3 ilustra as sete ações retiradas do Roteiro do MDR, que foram questionadas pelos mestrandos e respondidas pelo Sr. Secretário.

Limitações e potencialidades

O poder executivo municipal ainda não adotou medidas práticas para a solução do problema e nem possui um planejamento definido para tal. O reduzido quadro de pessoal da Secretaria de Meio Ambiente, que atualmente conta com dois servidores, foi levantado como uma das principais limitações para a adoção de ações. Além disso, o envolvimento dos órgãos municipais com as outras secretarias da Prefeitura e dos órgãos de controle ainda é insuficiente.

Quanto às potencialidades, verificou-se que o município possui um Plano Municipal de Saneamento Básico, que, apesar de necessitar de revisão pelo tempo decorrido, conforme a Lei 11.445/2007, representa um planejamento municipal. Além disso, Florestal possui coleta seletiva desde 2012/2013, que carece de aprimoramento para aumentar a capacidade de recuperação de recicláveis por parte da Associação de Catadores. Por fim, constatou-se que o município possui cobrança por serviços prestados por meio de taxa no Imposto sobre a Propriedade Predial

e Territorial Urbana (IPTU), que demanda evolução na sua formatação, mas que indica um início de sustentabilidade financeira dos serviços prestados.

Sobre a coleta seletiva, a situação verificada em Florestal/MG se assemelha à maioria dos municípios brasileiros, onde 62% no ano de 2013 possuíam alguma iniciativa voltada para coleta diferenciada de recicláveis, mas com baixo percentual de recuperação principalmente por não abranger todo o território municipal (Nascimento *et al.*, 2015). Segundo dados da Abrelpe, no ano de 2020 esse percentual foi para 74,4%, demonstrando um crescimento tímido considerando o período de tempo.

Ações estratégicas

Nesse contexto, a tomada de decisão e a adoção de medidas por parte do município torna-se essencial para a solução do problema. A Tabela 3 apresenta sugestões de providências gerais para ações estratégicas de gestão a serem tomadas.

Tabela 3 – Análise da Existência ou não de Ações Estratégicas de Gestão e Indicações Para Providências Gerais para as Ações Estratégicas de Gestão em Florestal – MG

Ações	Possui	Parcial	Não possui
1. Coordenação pela prefeitura e envolvimento dos órgãos municipais;		X	
Apesar da inexistência de ações práticas ou projetos/planos, existe um apoio e interesse do Prefeito e da Secretaria de Meio Ambiente na resolução dos problemas de RS, especialmente encerramento e recuperação da área de disposição final. Faz-se necessário o envolvimento de demais secretarias nessa questão (obras, assistência social, educação e saúde).			
Indicação: envolver as demais secretarias envolvidas na temática (Obras, Saúde, Assistência Social e Educação).			
2. Participação de órgãos de controle;		X	
Foi informado que ainda não existe um alinhamento, mas que já existe ação criminal e denúncia por parte do Ministério Público de Minas Gerais, devido à situação atual da área de disposição final de resíduos sólidos.			
Indicação: após definido o planejamento, envolver o Ministério Público, com o intuito de atender a legislação vigente, já recomendada pelo MP.			

Ações	Possui	Parcial	Não possui
3. Elaboração de Plano de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos;	X		
O município possui Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), incluindo a vertente de resíduos sólidos. O PMSB é de 2015, demandando atualização.			
Indicação: providenciar a revisão do PMSB, avaliando o que foi cumprido e o que ainda necessita de ser realizado, atualizando o planejamento.			
4. Elaboração do Plano de Ação;			X
Ainda não existem ações formalizadas e nem executadas.			
Indicação: elaborar o Plano de Ação específico para solução do problema, contendo os projetos necessários como cobertura do maciço, revegetação, drenagem pluvial, entre outros.			
5. Coleta seletiva dos resíduos secos e compostagem dos orgânicos;	X		
O município possui coleta seletiva desde 2012/2013, sendo realizada às terças e quintas a coleta dos recicláveis e às segundas, quartas e sextas a matéria orgânica. A coleta seletiva é realizada pela Prefeitura com a utilização de caminhão caçamba, mas necessita de aprimoramento para melhoria da separação do lixo pela população.			
Indicação: realizar campanhas educativas e buscar parcerias para apoios estruturais (aquisição de veículo e equipamentos de triagem), em instituições federais e estaduais, ou financiamentos em bancos.			
6. Implantação de taxa/tarifa de cobrança pelos serviços prestados;	X		
O município efetua cobrança através de taxa (variável de acordo com o bairro) incluída no IPTU, mas ainda não possui sustentabilidade financeira devido ao valor inferior ao necessário há inadimplência por parte da população.			
Indicação: realizar estudo para evolução do modelo de cobrança para um modelo que possibilite a sustentabilidade financeira da gestão, seja por meio de tarifa ou taxa, de acordo com o arranjo municipal.			
7. Implantação de soluções regionais.			X
Florestal ainda não participa de consórcio ligado a área de resíduos sólidos, mas estão sendo estudadas alternativas para tal.			
Indicação: realizar estudo para adesão a solução consorciada, levantando as ações existentes na região. Nos dados da Secretaria Estadual de Meio Ambiente (Semad), consta que o município está vinculado ao Consórcio Intermunicipal Multifinalitário do Centro Oeste Mineiro (CIAS) – CENTRO OESTE.			

Fonte: BRASIL 2021, adaptado pelos autores.

Sobre a questão de soluções regionalizadas, trata-se de um ponto positivo para que as gestões municipais enfrentem os desafios, especialmente quanto à economia de recursos públicos pelo ganho de escala. Ferreira *et al.* (2017) afirmam que: “A proposta para o consórcio pode ser uma importante ferramenta de gestão e planejamento dos RS”.

Para a elaboração do Plano de Ação de Florestal/MG, BRASIL (2021) elenca alguns passos a serem seguidos para o encerramento do local de disposição final de resíduos sólidos, conforme descritos e ilustrados na Figura 9.

O primeiro passo corresponde ao “SUPORTE TÉCNICO”, em que deverão ser identificados os atores e os profissionais que irão fornecer assessoria a todo o processo de encerramento e de recuperação da área de disposição final. No caso de Florestal/MG, já foram identificados os técnicos da Secretaria de Meio Ambiente e Agricultura, restando envolver as demais secretarias, tais como Educação, Obras, Saúde e Assistência Social, e verificar a necessidade de contratação de outros profissionais.

A fase seguinte é a de “CONHECIMENTO DA SITUAÇÃO”, cujo objetivo é levantar as informações e estudos do local, na forma de um diagnóstico dos problemas existentes. Foram identificados alguns problemas na visita *in loco* e o tamanho aproximado da área por meio de imagens de satélite.

Na sequência, tem-se a fase de “CONSTRUÇÃO COLETIVA”, em que é formalizada a equipe de trabalho e definidas as ações de cada ator envolvido, além de definidas as metas e o cronograma de execução.

O quarto passo é definido como “PARTICIPAÇÃO SOCIAL” e está ligado ao envolvimento da comunidade local e demais envolvidos, especialmente os catadores de materiais recicláveis. O envolvimento da comunidade é primordial para o sucesso do projeto, já que a aceitação dela é parte do sucesso da implantação.

O próximo passo consiste na “ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO”, que envolve a escolha do método de encerramento e recuperação do local, o planejamento do aterro sanitário a ser utilizado, o planejamento sobre a reciclagem de secos e orgânicos e, caso economicamente viável, a recuperação energética e, por fim, a estimativa de investimento e elaboração do cronograma físico-financeiro. Neste passo, já se possui uma alternativa a ser estudada correspondente ao Aterro Sanitário operado por empresa particular situado em Betim/MG e já existe coleta

seletiva iniciada no município. A adesão a este aterro sanitário ou outro pode se dar por meio de consórcio, em que os preços geralmente são mais acessíveis.

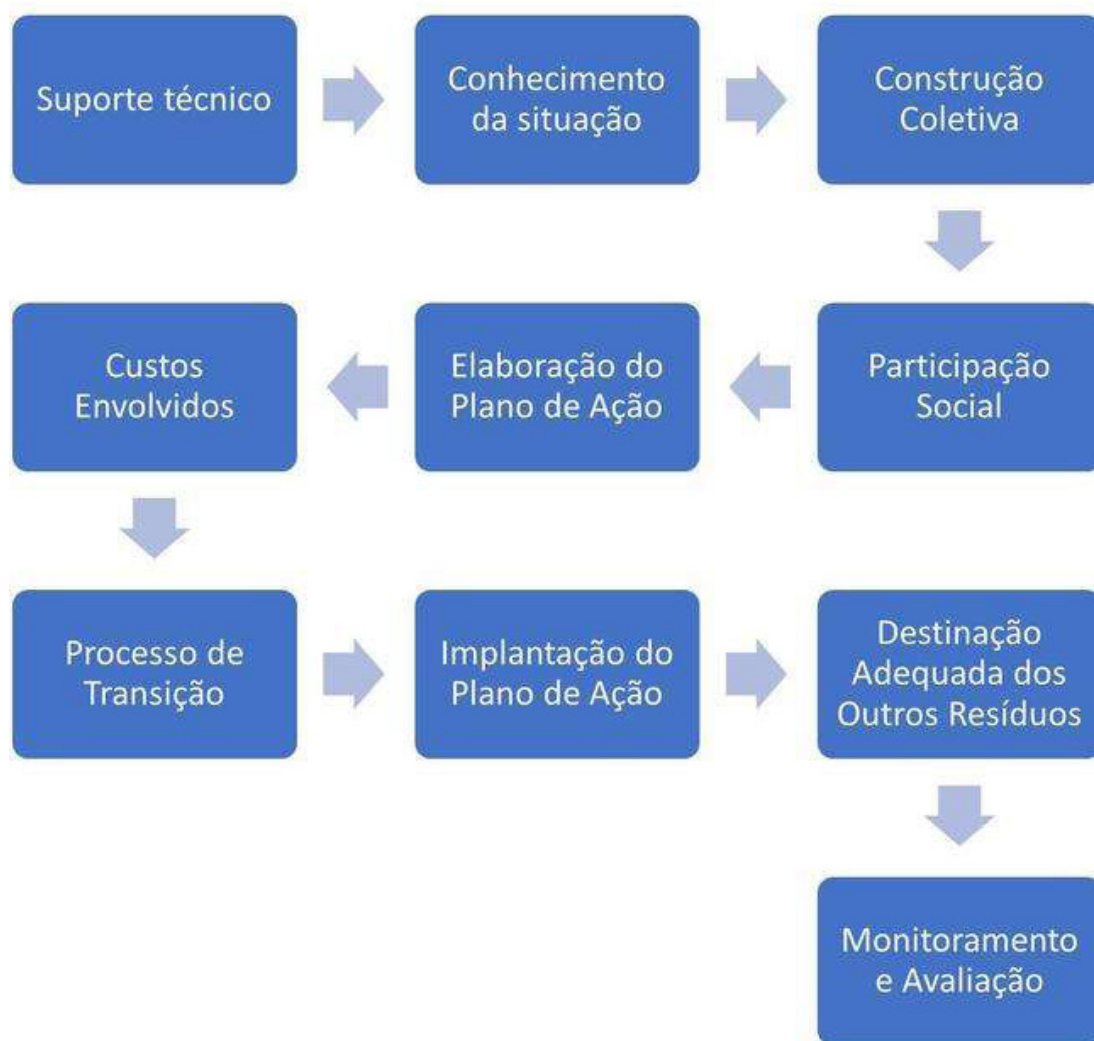
Em seguida, devem ser identificados os “CUSTOS ENVOLVIDOS” em todo o processo de encerramento e recuperação do local, assim como todos os fatores a serem considerados.

A sétima etapa corresponde ao “PROCESSO DE TRANSIÇÃO”, ligada à implantação das ações emergenciais necessárias tanto para o local de disposição final quanto para os catadores existentes.

A fase seguinte é de “IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO”, em que se inicia a destinação dos rejeitos para o novo local, no caso o Aterro Sanitário selecionado, além de ampliar a coleta seletiva com inclusão dos catadores informais e adoção de demais técnicas de tratamento de resíduos (exemplo da compostagem). Inicia-se também as ações de recuperação das áreas degradadas.

O penúltimo passo consiste na “DESTINAÇÃO ADEQUADA DOS OUTROS RESÍDUOS”, no tocante à coleta e disposição de resíduos dos grandes geradores, da construção civil, dos serviços de saúde e outros, incluindo articulação com os responsáveis para implantação da logística reversa.

O último passo é o de “MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO”, em que deve ser definido um modelo para acompanhar as metas e ações definidas e avaliar os resultados, providenciando ainda as adequações que se fizerem necessárias.

Figura 9 – Passos para elaboração do Plano de Ação do Município

Fonte: BRASIL 2021, adaptado pelos autores.

Os passos descritos anteriormente (Figura 9) correspondem a um caminho que poderá ser seguido na elaboração e implementação de uma política pública para a solução dos problemas. Problemas estes que estão ligados aos impactos ambientais, sociais, econômicos e de saúde pública, pois os lixões e/ou aterros controlados se tornam lugares propícios à proliferação e dispersão de insetos e roedores, que são hospedeiros e transmissores de diversas doenças (Varela *et al.*, 2021).

Trata-se de uma política pública essencial para contribuir com a realidade municipal, mas também com o cenário estadual e nacional. Varela *et al.* (2021) afirmam que a meta estabelecida pela PNRS, sobre a extinção dos lixões até 2014, ainda está longe de ser alcançada e que em Minas Gerais o cenário não é diferente, onde a previsão do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) era de que em 2011 haveria redução de 80% dos lixões, o que também não ocorreu.

Contribuições para o encerramento e recuperação da área de disposição final de resíduos sólidos

A partir da presente análise, foi possível identificar as práticas existentes na gestão municipal referente ao encerramento e recuperação da área de disposição final de resíduos sólidos do município de Florestal – MG, assim como definir estratégias para tal.

Constatou-se que existem intenções que se configuram como passos iniciais para a solução dos problemas, como a existência de coleta seletiva no município, o Plano Municipal de Saneamento Básico e um método de cobrança pelos serviços, embora todas apresentem necessidades de evolução para melhor efetividade.

Contudo, ainda existem desafios significativos, tais como a adoção de novas medidas para a solução do problema, como: i) o envolvimento de mais atores de diversos setores na discussão do tema (sociedade civil, associações de moradores e universidade, entre outros); ii) a elaboração de um plano de ações para direcionar o cronograma executivo que planejará todas as atividades que devem ser realizadas; e iii) a implantação de soluções consorciadas.

Quanto à evolução das intenções existentes, verificou-se que há necessidade de: a) aprimoramento da coleta seletiva para uma maior adesão por parte da população; b) revisão do PMSB para atualização do planejamento; c) evolução do método de cobrança visando à sustentabilidade financeira da gestão; e d) adoção de medidas em parceria com a associação de catadores com inclusão social daqueles informais.

Os dados obtidos e descritos no presente trabalho apresentam potencial de contribuir com a identificação do problema relativo à disposição final inadequada de resíduos sólidos em Florestal – MG. Essa identificação configura-se como o primeiro passo de uma política pública, direcionando o órgão executivo para implementação de ações efetivas.

A análise espacial realizada, e detalhadamente apresentada no capítulo anterior, por meio de imagens de satélite, permitiu identificar que a área utilizada para aterramento dos resíduos sólidos cresceu de 13.589,00 m² em 2012 para 39.251,00 m² em 2021 (188,84%). Tal fato demonstra o potencial de aumento dos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública, além do aumento

do conflito com a área de preservação compreendida pela Área de Preservação Especial (APE).

Por fim, foi identificada a intenção dos atores municipais em realizar a disposição final de forma adequada e este trabalho pode ser um balizador para o avanço das ações necessárias.

Referências

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. São Paulo – SP. 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/> . Acesso em: 20 set. 2022.

BASTOS, V. P.; MAGALHÃES, A. O. Lixão de Gramacho: Impactos do Encerramento para os Catadores. **Temporalis**, v. 16, n. 31, p. 379-398, 31 ago. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.22422/2238-1856.2016v16n31p379-398>. Acesso em: 21 set. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Roteiro Para Encerramento de Lixões**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/proteger/06.RoteiroparaEncerramentodeLixoes.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico SNIS-RS 2019**. Brasília, 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/cadernos/2019/DO_SNIS_AO_SINISA_RESIDUOS_SOLIDOS_SN_IS_2019.pdf. Acesso em: 15 set. 2022.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Casa Civil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 14 set. 2022.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 15 de setembro de 2022.

CAPELARI, Mauro Guilherme Maidana; ARAÚJO, Suely Mara Vaz Guimarães de; CALMON, Paulo Carlos Du Pin; BORINELLI, Benilson. Mudança de larga escala na política ambiental: análise da realidade brasileira. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 54, n. 6, p. 1691-1710, nov./dez. 2020. DOI: 10.1590/0034-761220190445. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-761220190445>. Acesso em: 20 setembro de 2022.

FERREIRA, C.; JUCÁ, J. Metodologia para avaliação dos consórcios de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais. **Eng Sanit Ambient**, v.22, n.3, P.513-521, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017147551. Acesso em: 29 out. 2022.

FLORESTAL, Minas Gerais. **Lei Municipal 293 de 13 de junho de 1984**. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/mg/f/florestal/lei-ordinaria/1984/30/293/lei-ordinaria-n-293-1984-cria-area-de-preservacao-ecologica?q=Ecol%F3gica>. Acesso em: 14 set. 2022.

FLORESTAL. **Lei Municipal nº 610, de 8 de junho de 1998**. Modifica o artigo 1º da Lei Municipal nº 293, de 13 de junho de 1994, que cria área de preservação ecológica. Leis Municipais, 1998. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/mg/f/florestal/lei-ordinaria/1998/61/610/lei-ordinaria-n-610-1998-modifica-o-artigo-1-da-lei-municipal-n-293-de-130694-que-cria-area-de-preservacao-ecologica>. Acesso em: 14 set. 2022.

GOMES, Érika Romana *et al.* Influência de condições climáticas na composição do biogás gerado no lixão municipal de Juazeiro do Norte – CE. **Revista Dae**, [S.L.], v. 70, n. 237, p. 210-228, 5 jul. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2022.062>. Acesso em: 20 set. 2022.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia do Trabalho Científico**. 8. Ed. São Paulo: Atlas, 2021. 256 p.

MINAS GERAIS. **Política Florestal e de Proteção à Biodiversidade**. Lei, nº 20.922 de 16 de outubro de 2013. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>. Acesso: 20 out 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Panorama resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais: ano base 2020** / Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Belo Horizonte: Semad, 2021. 130 p.: il

NASCIMENTO, Victor Fernandez *et al.* Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**. Vol. 10 n. 4 Taubaté – Oct. / Dec. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/NrqL6pPNpMRShCvQbKPWDhg/?lang=pt>. Acesso em: 16/11/2022.

PEREIRA, Anne Relvas *et al.* Evaluation of the superficial water quality in the affected area of a waste dump. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 239- 246, 20 dez. 2013. Quadrimestral. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1160>. Acesso em: 20 set. 2022.

SILVA, K; ROSAS, L.; OLIVEIRA, S. Gestão dos Resíduos Sólidos do Brasil evolução e desafios a caminho: Uma Revisão Integrativa. **Scientia Amazonia**, v.7, n.2, CA1-CA15, 2018. Disponível em: <http://www.scientia-amazonia.org>. Acesso em: 27 jul. 2022.

SIQUEIRA, M.; FARIA, K. Análise da Dinâmica da Paisagem no Município de Rio Verde, Goiás, Brasil: Uma Ferramenta para a Escolha de Áreas Prioritárias para a Conservação. **Soc. Nat.** | Uberlândia, MG | v.31 | p.1-20 | 2019 | ISSN 1982-4513.

VARELA, Isabela Dalle et. al. Análise da disposição de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais e em cidades médias do Grupo Bambuí. **Ateliê Geográfico - Goiânia-GO**, v. 15, n. 1, abr/2021.

TECNOLOGIAS DE BIORREFINARIA PARA A VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE ÓLEO DE PALMA

Brenno Santos Leite

Sibele Augusta Ferreira Leite

Vitória Sônego Lemos dos Santos

Temitope Fadekemi Ogunjimi

Apresentação

No capítulo “Tecnologias de biorrefinaria para a valorização de resíduos na indústria de óleo de palma”, analisou-se a distribuição da indústria de óleo de palma na Nigéria e comparou-se a produção entre Nigéria e Brasil. Os resultados indicaram potencial para biorrefinarias em ambos os países, especialmente no sul da Nigéria. A indústria de óleo de palma gera resíduos valiosos, destacando-se a importância da implementação de biorrefinarias para sua utilização sustentável.

Introdução

A população mundial está em constante crescimento populacional, o que leva a um aumento da demanda energética e do consumo de recursos naturais. Todas as atividades da sociedade atual necessitam de alguma forma desses recursos, seja de modo direto ou indireto. Da mesma maneira, ocorre também o

aumento da geração de resíduos produzidos pelas atividades agroindustriais. A investigação do uso destes resíduos se torna uma importante ferramenta para o desenvolvimento sustentável, uma vez que a ideia é proporcionar a inserção dos mesmos na cadeia energética ou na produção de biomateriais.

Considerando o cenário global atual, a indústria do óleo de palma, também referido como “óleo de dendê”, está concentrando seus esforços na redução dos resíduos agroindustriais gerados durante o processo de beneficiamento. Esses resíduos possuem uma composição química propícia para a produção de coprodutos e energia sustentável, o que está sendo explorado como uma abordagem estratégica.

O óleo de palma é um óleo de origem vegetal que apresenta como principal característica a elevada quantidade de ácidos graxos pouco insaturados, aproximadamente 44% (Lopes & Sampaio, 2020). Ele também se destaca pela alta produtividade da espécie (3.700 kg por hectare) e pelo grande valor comercial (97% do óleo produzido no Brasil é destinado à indústria de alimentos) por dispor de carotenóides e de antioxidantes. Sendo assim, é de extrema importância para o setor de alimentos (produção de biscoitos, margarinas, óleo de cozinha etc.) e para a indústria química (produção de detergentes e cosméticos) (Santos, 2008).

Dois tipos de óleos podem ser obtidos da palmeira (*Elaeis guineensis*), conhecida também como dendezeiro: o óleo de palma e o óleo de palmiste. Cada um apresenta composições químicas e características físicas diferentes (Food Ingredients Brasil, 2014).

Em relação às plantações dos dendezeiros, o sudeste asiático é responsável por aproximadamente 80% da produção mundial (destacam-se a Malásia, Indonésia e Tailândia); posteriormente, está o continente africano com a Nigéria. Também estão presentes na classificação alguns países da América do Sul, como Colômbia e Brasil (Santos, 2008).

Atualmente, a Nigéria é o quinto maior produtor de óleo de palma, com 1,5% ou 1,03 milhão de toneladas da produção total mundial, de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. É interessante ressaltar também que, apesar da produção de óleo de palma não ser muito expressiva no Brasil, houve o incentivo ao cultivo de palma em regiões mais vulneráveis como o Norte e o Nordeste brasileiro (Abrapalma, 2017). No Brasil, estima-se uma área cultivada de cerca de 236 mil hectares, sendo que o estado do Pará concentra 90% das áreas plantadas no Brasil (Santos, 2008).

Resíduos agroindustriais

O Brasil é um país com grande atividade agrícola, logo, apresenta também grande produção de resíduos agroindustriais. Dentre os resíduos mais comuns do setor, destacam-se as cascas, sementes e bagaços pertencentes dos processamentos de produtos de origem vegetal, como frutas, oleaginosas e hortaliças (Infante *et al.*, 2013).

Os resíduos agroindustriais do processamento da indústria alimentícia, tanto de origem vegetal quanto de origem animal, apresentam em suas composições diferentes constituintes. Estes podem ter grande potencial para desenvolvimento de subprodutos, bem como para a agregação de valor e utilização sustentável pela aplicação do conceito de biorrefinaria (Rosa *et al.*, 2011).

Potencial de biorrefinarias

As biorrefinarias são indústrias que, por meio de processos e tecnologias, transformam biomassa em produtos como biocombustível, rações animais, biofertilizantes, produtos químicos de elevado valor agregado e energia (calor e eletricidade). Essas instalações integram diversas rotas de conversão, podendo ser bioquímicas, químicas e termoquímicas, com o objetivo de alcançar o melhor aproveitamento da biomassa utilizada (Favaro & Miranda, 2013).

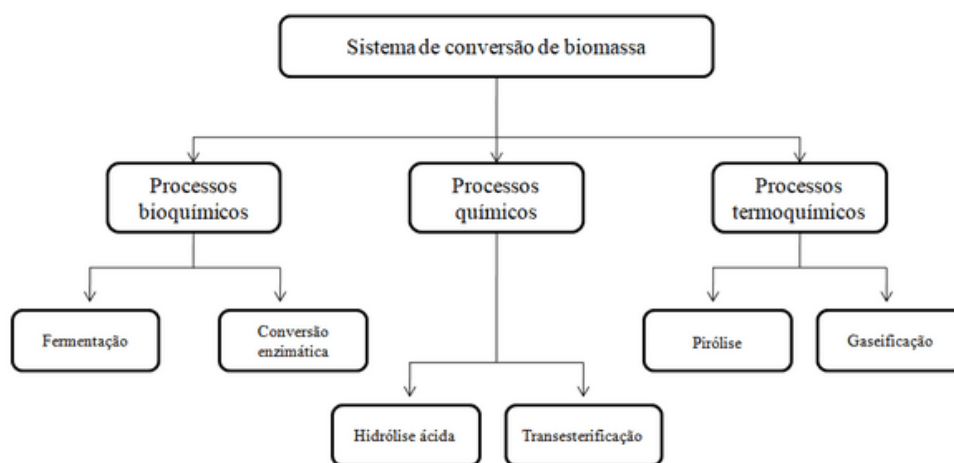
Para cada tipo de biomassa, deve ser utilizado um processo adequado em relação às características físico-químicas do material. A rota bioquímica é frequentemente utilizada para processos como fermentação e biodigestão para produção de biogás. Enquanto a rota química, como por exemplo, a hidrólise, é mais indicada para produção de moléculas definidas, tais como o bioetanol (Rodrigues, 2011).

Na rota termoquímica, o processo de pirólise vai realizar a conversão de biomassa em produtos como o bio-óleo, combustível substituto do óleo diesel para a produção de calor e energia, e o biocarvão (*biochar*), que é um coproduto rico em carbono que pode ser utilizado para produção de energia (Vaz Junior, 2012).

Sendo assim, o processo de biorrefinaria é dividido por rotas bioquímicas, químicas e termoquímicas. Essas rotas apresentam diversos processos que podem

ser realizados para a transformação da biomassa. A rota escolhida depende da composição química da biomassa que está sendo utilizada e do produto final que deseja se obter (Favaro & Miranda, 2013). Na Figura 1 podem ser visualizados alguns dos processos mais conhecidos de cada rota de conversão de biomassas lignocelulósicas em coprodutos ou energia.

Figura 1 – Sistemas de conversão de biomassa



Fonte: Adaptado Alvim *et al.*, 2014.

Em relação aos produtos que podem ser gerados a partir da biorrefinaria, podem ser concentrados em dois grandes grupos principais: os energéticos, como bioetanol, biodiesel e combustíveis sintéticos e os de materiais, como produtos químicos, alimentos, rações animais, entre outros (Alvim *et al.*, 2014).

Dentro deste contexto foram reunidas informações, mediante uma revisão sistematizada, sobre a indústria do óleo de palma, com o intuito de identificar oportunidades da implementação de biorrefinarias e investigar o potencial energético presente nos resíduos da produção de óleo de palma.

Neste contexto, o estudo abrangeu os seguintes aspectos: i) Análise da distribuição geográfica das indústrias de óleo de palma na Nigéria e avaliação do potencial de produção tanto na Nigéria quanto no Brasil; ii) Exploração da literatura para identificar as principais tecnologias empregadas na produção de óleo de palma e subsequente avaliação da quantidade de resíduos gerados, utilizando a abordagem de Produção Mais Limpa; iii) Investigação das características dos resíduos gerados por meio da revisão bibliográfica, abrangendo aspectos como composição química e propriedades físicas e iv) Avaliação da viabilidade de tecnologias de biorrefinaria adequadas para valorizar os resíduos gerados.

Desenvolvimento

Para auxiliar no entendimento, as informações coletadas foram organizadas em três seções. A primeira seção abordou a distribuição das indústrias de óleo de palma na Nigéria e a produção na Nigéria e no Brasil. A segunda seção identificou as tecnologias de produção e os resíduos gerados. A terceira seção teve foco nas características dos resíduos e na escolha da tecnologia de biorrefinaria. Métodos de revisão sistemática foram usados nos capítulos dois e três para investigar questões específicas com base na pesquisa bibliográfica (Galvão & Pereira, 2014).

Exploração do campo bibliográfico

A pesquisa de informações e de dados para a revisão de literatura foi realizada na internet, de modo gratuito, nas seguintes bases de dados: a) Google Acadêmico, disponível em: <https://scholar.google.com.br/>; b) Portal Periódico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br/>; c) *ScienceDirect*, disponível em: <https://www.sciencedirect.com>

Identificação da distribuição espacial das indústrias de óleo de palma na Nigéria e análise da produção na Nigéria e no Brasil

O arquivo de formato de limite da Nigéria foi elaborado pelo Laboratório de Sistemas de Informações Geográficas (GIS) da Universidade de Lagos. A localização geográfica, especificamente a longitude e latitude, das indústrias de óleo de palma foi obtida pelo software Google Earth, digitada em planilha Excel e adicionada em um ambiente ArcGIS, utilizando *Arc Map* 10.4, software que foi usado no mapeamento (ARCGIS, 2011).

Também foi conduzida uma avaliação da produção das indústrias de óleo de palma tanto na Nigéria quanto no Brasil. Para essa análise, uma pesquisa bibliográfica foi realizada. A produção anual de óleo de palma nos estados nigerianos foi adquirida por meio de dados obtidos a partir de um levantamento conduzido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2020).

Enquanto isso, no Brasil, os dados relativos à produção anual de cachos e óleo de palma foram extraídos de fontes como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o USDA.

Identificação das principais tecnologias adotadas para a produção do óleo de Palma e esquema do processo de produção

A identificação das tecnologias adotadas para a produção de óleo de palma foi realizada mediante a revisão bibliográfica, na qual foi possível entender e discutir os processos e operações que são realizados para a produção do óleo. Em conjunto com o entendimento do processo de produção, foi necessário realizar um balanço de massa e estimar a quantidade de resíduos gerados por uma indústria de óleo de palma (Matovic, 2013; Mandarinino & Roessing & Benassi, 2005; Guarapé Pecuária, [2021]) e foi usada a metodologia de Produção Mais Limpa (Nilson *et al.*, 2007), que identifica entradas e saídas do processo produtivo, sendo possível assim estimar a quantidade de resíduos gerados.

Sendo assim, a questão-problema estabelecida para esse segundo tópico foi: “Qual é o principal esquema do processo de produção de óleo de palma e suas respectivas entradas e saídas?”.

Identificação das características dos resíduos gerados e avaliação da tecnologia de biorrefinaria adequada

A identificação das características dos resíduos gerados, quanto à composição química, é essencial para identificar as possibilidades de valorização dos mesmos (Leite *et al.*, 2018). Logo, por meio da pesquisa de referências bibliográficas, foi feito um agrupamento de dados dos principais parâmetros para o efluente da extração do óleo de dendê (POME), sendo estes: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos totais, sólidos voláteis, nitrogênio e pH. Após isso, foi realizada uma investigação para verificar quais são as tecnologias de biorrefinaria que podem ser usadas para cada tipo de resíduo estudado.

Com isso, a questão-problema estabelecida para este capítulo foi: “Quais são os possíveis processos de biorrefinaria adequados para cada tipo de resíduo da produção de óleo de palma?”.

Identificação da distribuição espacial das indústrias de óleo de palma na Análise da produção na Nigéria e no Brasil

A Nigéria apresenta um crescimento na sua produção anual de óleo de palma, entretanto, ocorre uma queda na sua participação na produção mundial no decorrer das últimas décadas. Em 1960, representava cerca de 43% da produção mundial, enquanto, atualmente, representa apenas 2-5% da produção global total. Isso ocorre devido ao desenvolvimento de outros países nesse setor e a falta de incentivo nessa área na Nigéria (Idh Sustainable Trade, 2020).

Algumas restrições são perceptíveis para um maior desenvolvimento do setor de óleo de palma na Nigéria, tais como: a falta de acesso a insumos de qualidade; material para plantio e fertilizantes; sistemas precários para identificar agricultores que precisam de insumos subsidiados; baixo acesso à informação e conhecimento; problemas com posse da propriedade, o que impede investimentos e planejamento agrícola (Idh Sustainable Trade, 2020).

Apesar das dificuldades, o país encontra-se como quinto maior produtor de óleo de palma mundial. De modo que sua produção está concentrada nas regiões sul, sudoeste e sudeste do país. Na Tabela 1 encontram-se os valores de quantidade anual de produção de óleo de palma em toneladas.

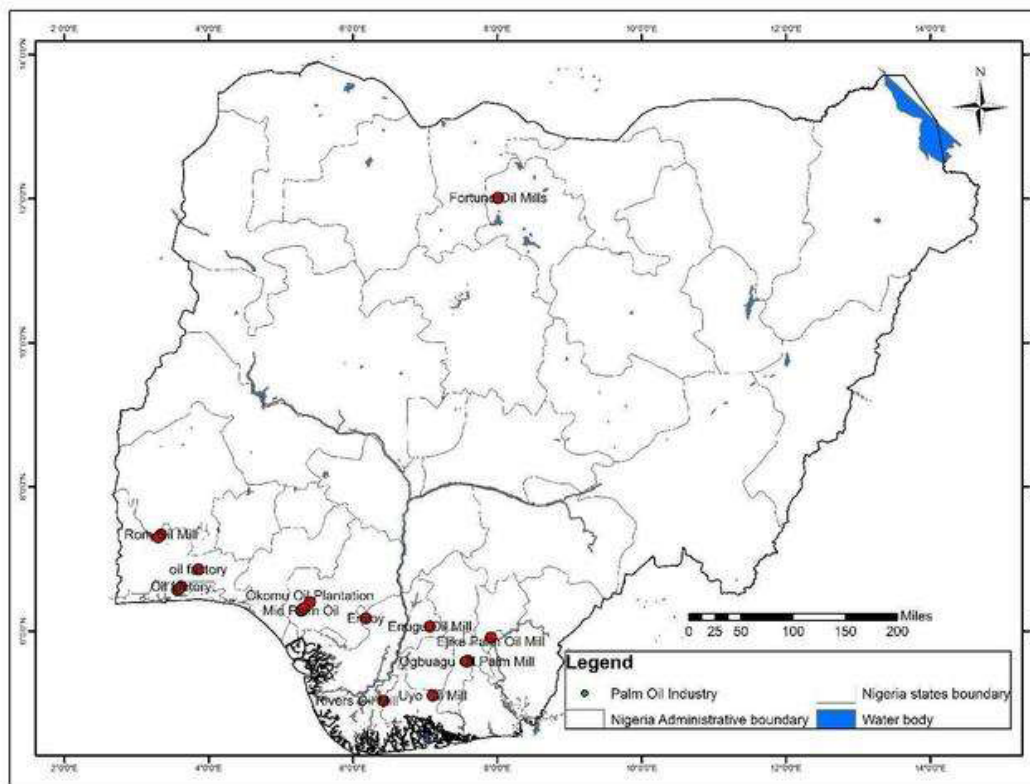
Tabela 1 – Quantidade anual de produção de óleo de palma na Nigéria

Localidade	Quantidade (t/ano)
Sul	535.500
Sudoeste	344.250
Sudeste	318.750
Total	1.275.000

Fonte: USDA, 2020.

Juntamente com outro estudo sobre a produção de óleo de palma na Nigéria, foi elaborado um arquivo com a identificação da distribuição espacial das indústrias. Na Figura 2, está apresentado o arquivo do mapeamento das indústrias de óleo de palma elaborado pela aluna.

Figura 2 – Localizações geográficas das indústrias de óleo de palma na Nigéria



Fonte: Os autores, 2022.

Conforme observado na Figura 2, a maioria das indústrias de óleo de palma está localizada na região sul e sudoeste da Nigéria, e os estados são Lagos, Edo, Anambra, Ogun, Rivers, Enugu, Imo, Abia, Akwa Ibom, Oyo e Kano. A localização da maioria das indústrias na zona sul é vantajosa para a coleta dos resíduos da produção de óleo de palma e também por possibilitar a criação de uma biorrefinaria em qualquer um dos estados que ofereça melhor proximidade e infraestrutura social.

Em relação ao Brasil, foi possível encontrar dados relacionados à quantidade produzida de dendê no ano de 2020 e os estados em que essa produção está localizada. O estado do Pará é o maior produtor nacional de palma, com uma produção anual de aproximadamente 3 milhões de toneladas por ano, e uma área colhida de 188.502 hectares, sendo 40 mil hectares em áreas de agricultores familiares (IBGE, 2020). Os estados da Bahia e Roraima também apresentam

uma produção de palma. Na Tabela 2, são apresentados os dados de quantidade produzida, em toneladas, em cachos e em óleo de palma.

Tabela 2 – Quantidade anual produzida de óleo de palma no Brasil

Localidade	Quantidade Produzida Cachos(t)	Quantidade Produzida de Óleo de Palma (t)
Pará	2.829.443	446.900
Bahia	37.143	87.200
Roraima	1.400	-
Brasil	2.867.986	545.000

Fonte: IBGE, 2020; USDA, 2020.

Em 2022, a produção mundial de óleo de palma foi estimada em 79,14 milhões de toneladas, um aumento de 3,78%, comparado ao ano de 2021, que foi de 76,26 milhões de toneladas. O Brasil e a Nigéria estão presentes no ranking dos 10 maiores produtores para esse ano. A Nigéria tem uma produção estimada de 1.400.000 toneladas, ficando na quinta posição do ranking, enquanto o Brasil ocupa a nona posição com uma produção estimada de 570.000 toneladas neste ano (USDA, 2022). Desse modo, é possível constatar que os dois países são referências na produção de óleo de palma, sendo que a produção anual da Nigéria é mais que o dobro da produção anual de óleo de palma do Brasil. Com isso, fica evidente a oportunidade de utilização desses resíduos para a biorrefinaria.

Esquema do processo de produção de óleo de palma

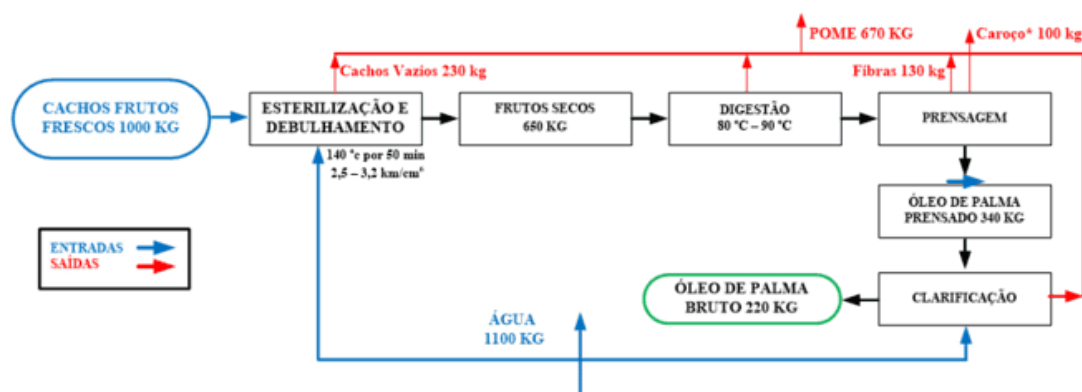
Com base nas literaturas selecionadas, foi proposto um fluxograma esquemático da produção do óleo de palma com as entradas e saídas do processo. O processo inicia-se com a colheita do fruto de palma na plantação.

Na indústria, os cachos de frutos passam pelo processo de esterilização e separação dos cachos. Após os frutos já separados, estes são transferidos para um digestor que tem o propósito de quebrar a estrutura das células da polpa, o que facilita na liberação do óleo. Em seguida, ocorre o processo de prensagem, que resulta no óleo de palma prensado e no surgimento de resíduos do fruto, como as fibras e o caroço que, posteriormente, darão origem ao óleo de palmiste. Para finalizar, acontece um processo de clarificação que tem o objetivo de clarificar e

retirar umidade e impurezas, sendo possível a utilização do óleo para consumo (Matovic, 2013; Mandarinino & Roessing & Benassi, 2005).

Na Figura 3, é possível entender o processo de produção do óleo de palma, conhecendo também as entradas e saídas. Desse modo, foi realizado um estudo do balanço de massa, com base em três referências bibliográficas (Matovic, 2013; Mandarinino & Roessing & Benassi, 2005; Guarapé Pecuária, [2021]), com o intuito de esquematizar o processo, medir a eficiência da indústria e quantificar os resíduos gerados. O esquema apresenta como exemplo uma produção com uma entrada de uma tonelada de cachos de frutos frescos, sendo possível conhecer o rendimento final e a quantidade e tipo de resíduos gerados durante a produção.

Figura 3 – Processo de produção do óleo de palma



Fonte: Matovic, 2013; Mandarinino & Roessing & Benassi, 2005; Guarapé Pecuária, 2021.

Para a elaboração do fluxo e do balanço de massa, considerou-se que os cachos de frutos frescos foram colocados em um esterilizador com uma temperatura de vapor em torno de 140°C e pressão de 2,5 a 3,2 kg/cm². Para o processo de digestão, foi considerado que a etapa foi realizada pelo vapor da água em uma temperatura de cerca de 80°C a 90°C. A etapa de prensagem pode ser realizada de modo mecânico e a clarificação é feita por meio da centrifugação (Matovic, 2013).

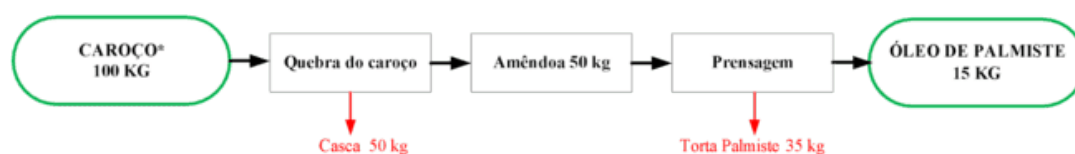
Como pode ser observado na Figura 3, a água foi colocada como entrada, isto porque ela está totalmente relacionada com a maior produção do efluente. De acordo com Wu *et al.* (2009), a quantidade de água pode ser estimada em relação à quantidade de óleo bruto produzido, de modo que para uma tonelada de óleo bruto de palma produzida são necessárias de 5 a 7,5 toneladas de água. Sendo assim, no caso do fluxograma realizado, para a produção de 220 kg de óleo de palma bruto, foram considerados 1.100 kg

de água. O gasto energético da indústria não foi possível calcular e não está associado à produção de resíduos agroindustriais. Nas saídas, foram listados todos os resíduos que são gerados no processo, são eles: cachos vazios, fibras, caroço e POME (*palm-oil mill effluent*).

A produção de óleo de palmiste começa após a etapa de prensagem, quando a torta possui uma mistura de fibras e o caroço são separados da produção do óleo de palma. A partir disso, algumas etapas são realizadas, como a quebra do caroço e a prensagem da amêndoa (Matovi, 2013; Mandarino & Roessing & Benassi, 2005; Parente & Júnior & Costa, 2003).

Na Figura 4, é possível compreender o processo, o rendimento final e a quantidade de resíduo gerado por meio de um fluxograma. Esses resíduos não serão analisados, visto que o foco do trabalho são os resíduos gerados na produção de óleo de palma.

Figura 4 – Processo de produção do óleo de palmiste



Fonte: Matovic, 2013; Mandarino & Roessing & Benassi, 2005; Guarapé Pecuária, 2021.

Dessa forma, é possível entender todo o processo de produção e os produtos e resíduos gerados. Sendo fundamental a utilização desses dados para a discussão da valorização dos resíduos produzidos utilizando tecnologias de biorrefinaria.

Caracterização dos resíduos e tecnologia de biorrefinaria mais adequada para cada tipo de resíduo.

O *Palm-Oil Mill Effluent* (POME) é o nome utilizado para designar o efluente líquido que é gerado no processo produtivo do óleo de palma. Como já mencionado, esse líquido está presente em grande quantidade o que, consequentemente, torna o POME um dos grandes problemas das indústrias extratoras de óleo de palma.

A literatura revela que a característica central do POME é sua elevada concentração de matéria orgânica, com Demanda Química de Oxigênio (DQO) variando entre 9.700 e 32.580 mg/L, juntamente com uma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) que oscila de 17.000 a 34.950 mg/L. Além disso, os níveis de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV) são observáveis, com o ST abrangendo uma faixa de 40.500 a 126.970 mg/L, e o SV situado entre 34.000 e 57.300 mg/L. Vale destacar que o valor singular de SV de 993 ± 60 mg/L foi excluído da análise devido à sua significativa discrepância em relação às outras referências bibliográficas e à sua incongruência com os valores de DBO e DQO, que atuam como indicadores de matéria orgânica. A determinação do teor de SV desempenha um papel crucial na identificação da predominância de material orgânico, influenciando a escolha das abordagens mais apropriadas para o tratamento de águas residuais (Moffitt, 1999 apud Souza *et al.*, 2009).

O pH é um fator relevante no crescimento de microrganismos. Para um processo de biodigestão anaeróbica, o pH ótimo das arqueas metanogênicas varia de 6,7 a 7,5, enquanto o pH ótimo de outros microrganismos fermentativos varia de 4,0 a 8,5, sendo menos sensíveis à variação de pH (Kunz; Steinmetz; Amaral, 2019). Nesse caso, o POME apresenta um pH fora da faixa de variação ideal para arqueas metanogênicas, que são necessárias para produção de biogás, visto que ele varia de 4,0 a 4,7.

Quando observados os valores de nitrogênio total, esses variam de 1.020 a 550 mg/L. A relação de DBO e nitrogênio é importante em um processo de biodigestão, visto que a DBO expressa a matéria orgânica presente no efluente, e essa relação influencia na função dos nutrientes no metabolismo e na reprodução dos microrganismos. A razão DBO: N deve ser de 140:1. Com base na revisão bibliográfica, o POME apresenta uma razão de DBO e nitrogênio de, em média, 33:1, bem abaixo do ideal para o processo anaeróbico.

Na Tabela 3 estão apresentados alguns dados sobre POME encontrados na literatura, como demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais, sólidos voláteis, pH e nitrogênio.

Tabela 3 – Publicações sobre propriedades físico-químicas do efluente da fábrica de óleo de palma (POME)

Parâmetros						Referências Bibliográficas
DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	pH	Nitrogênio (mg/ L)	
44800 ± 3500	21950 ± 1000	48680 ± 3400	993 ± 60	4,64 ± 0,3	-	Khadaroo, <i>et al.</i> (2019)
50000	25000	40500	34000	4,7	-	Alhaji, <i>et al.</i> (2016)
-	-	126.970 ± 13.506	-	4,76	-	Fonseca, <i>et al.</i> (2016)
70500 ± 917	34950 ± 1450	51880 ± 310	43260± 140	4,73 ± 0,03	1020 ± 29	Khemkhao, <i>et al.</i> (2015)
32580 ± 9500	17000 ± 2500	-	-	4,7 ± 0,19	852 ± 107	Poh, P. E. Chong, M. F. (2014)
85000	25620	61100	-	4.0 ± 0,2	550	Alrawi, <i>et al.</i> (2011)
97000	-	67300	57300		-	Fang, <i>et al.</i> (2011)

Fonte: Os autores, 2022.

Alguns outros dados que não estão na tabela também podem influenciar no processo e na utilização deste resíduo, como que o POME contém cerca de 95-96% de água e 0,6-0,7% de óleo (LAM & LEE, 2011). Para verificar a viabilidade do processo de biodigestão do POME, foi considerado a utilização de um biodigestor de lagoa coberta (BLC). Ele é conhecido por ser um tanque de tanque escavado no solo, impermeabilizado e coberto com material geossintético (PVC, PEAD, etc.). Também apresenta características como: baixa permeabilidade a fluídos e gases, flexível para acumular biogás, baixo nível tecnológico e, normalmente, não apresenta controle de temperatura e sistema de agitação (Kunz; Steinmetz; Amaral, 2019).

Com isso, foi realizada uma suposição para estimar o volume de um tanque de biodigestor. Levando em consideração a capacidade produtiva de óleo de palma nos estados da Nigéria, essa capacidade pode variar de 0,3 a 45 toneladas por dia (Naerls; FDAE; P&PCD, 2018). Sendo assim, foi considerada a capacidade de produtiva de 220 kg por dia, que deve ser levada em consideração para uma empresa de menor porte e foi a capacidade produtiva encontrada no balanço de massa. De acordo com o porte da empresa, esse valor pode sofrer grande variação. Portanto, foi utilizada a Equação 1 do tempo de retenção hidráulica

(TRH), tempo médio em que o substrato permanece no interior do biodigestor, para calcular o volume do biodigestor. Ele é calculado pela razão entre o volume do biodigestor (V) e a vazão de alimentação (Q).

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad \text{Eq. 1}$$

Para realizar os cálculos foi utilizado os seguintes passos: i) Densidade e TRH: Inicialmente, para realizar o cálculo, considerou-se algumas premissas, densidade do POME estabelecida como 1000 kg/m³, considerando que mais de 90% da sua composição era água, conforme indicado por Lam e Lee (2011). Além disso, foi utilizado um Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 30 dias; ii) Cálculo do Volume do Biodigestor: utilizaram-se as informações acima para determinar o volume necessário do biodigestor, sendo esse volume crucial para a viabilidade do projeto; iii) Vazão Diária e Balanço de Massa: a vazão diária do POME foi estabelecida em 670 kg, baseada nos resultados obtidos no balanço de massa para uma entrada de 1.000 kg de cachos de palma por dia; iv) Volume Encontrado: com base na vazão diária e nas informações anteriores, chegou-se a um volume total de 20 m³ para o biodigestor. Isso equivale a 20.000 litros; v) Volume do Tanque: considerando esse volume calculado para o biodigestor, caso o tanque fosse retangular as dimensões seriam 6 m de comprimento, 1,5 m de profundidade e 3,0 m de largura; caso fosse um tanque cilíndrico, as dimensões seriam 2,80 m de altura e 3,15 m de diâmetro na base. vi) Viabilidade: com os resultados obtidos e as análises realizadas avaliou-se a viabilidade da implementação de um biodigestor de lagoa coberta em uma indústria de pequeno porte. Conforme os resultados encontrados, constatou-se a viabilidade da utilização de um biodigestor de lagoa coberta em uma indústria de pequeno porte.

As fibras e os cachos vazios são outros resíduos gerados nas etapas do processo produtivo do óleo de palma. Abaixo se encontram, na Tabela 4, informações sobre caracterização do resíduo. Esses dois resíduos podem ser usados diretamente na indústria como combustível sólido para aquecer as caldeiras, isso devido aos altos valores de materiais lignocelulósicos (MORAIS *et al.*, 2013).

Tabela 4 – Caracterização Físico-Química das Fibras e Cachos Vazios

Frações	Celulose	Hemicelulose	Lignina	C	N	H
	(%massa)					
Fibras	27,77 - 37,67	18,82 - 23,99	18,95 - 22,99	42,93 - 52,2	0,7 - 1,7	5,2 - 7,1
Cachos vazios	35,01 - 62,9	20,15 - 33,9	18,8 - 30,45	40,63 - 47	0,64 - 1,5	5,4 - 6,45

Fonte: Os autores, 2022.

Logo após a etapa de debulhamento, os cachos vazios podem ser utilizados como adubo dos solos de plantação de palma, pois promovem aumento de nutrientes como nitrogênio, potássio e fósforo (Furlan Júnior, 2000). Para que os resíduos possam ser usados em processos de fertilização, como a compostagem, a relação de C/N deve ser entre 30 e 40 (Moffitt, 1999 apud Souza *et al.*, 2009). Com base no que foi encontrado na revisão bibliográfica, tanto as fibras como os cachos vazios apresentam uma relação de C/N dentro dessa margem.

Entretanto, esses resíduos apresentam grande potencial agregado, sendo possível a utilização de outros modos. No caso das fibras e dos cachos vazios serem materiais lignocelulósicos, o processo de biodigestão não é o mais adequado, visto que apresenta uma dificuldade para degradar o material. Com isso, processos termoquímicos são mais vantajosos nesses casos, possibilitando a produção de carvão vegetal e bio-óleo (Rahayu *et al.*, 2021).

Segundo Rahayu *et al.* (2021), o processo de pirólise dos cachos vazios da palma é uma ótima alternativa para a produção de carvão vegetal e bio-óleo. Em baixas temperaturas, o processo apresentou um rendimento de 36,92% a 350°C de carvão vegetal, enquanto no processo em altas temperaturas (550°C) obteve-se um rendimento de 46,60% de bio-óleo (Rahayu *et al.*, 2021).

Na Tabela 5 e 6 estão presentes os dados das características físico-químicas das fibras e dos cachos vazios encontrados na revisão bibliográfica.

Tabela 5 – Publicações sobre propriedades físico-químicas das fibras de palma

Referências Bibliográficas	Parâmetros						
	Cinzas (%)	Lignina (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Carbono (%)	Hidrogênio (%)	Nitrogênio (%)
Fonseca <i>et al.</i> (2016)	6,05 ± 0,03	20,39 ± 0,01	27,77 ± 0,63	22,88 ± 1,39			
Fonseca <i>et al.</i> (2016)	6,23 ± 0,15	18,95 ± 1,16	29,47 ± 1,25	19,82 ± 0,17			
Oliveira, A. L. P. C. (2012)	2,4	-	-	-	43,0	5,6	1,4
Wilson <i>et al.</i> (2011)	11,8				52,2	7,1	0,7
Idris <i>et al.</i> (2010)	10,2				43,1	5,2	1,5
Luangkiattikhun <i>et al.</i> (2008)	6,6				46,6	5,6	1,7
Surahmanto <i>et al.</i> (2020)	6,075	22,99	37,67	23,99	42,93	6,9	1,15

Fonte: Os autores, 2022.

Tabela 6 – Publicações sobre propriedades físico-químicas dos cachos vazios da palma

Referências Bibliográficas	Parâmetros						
	Cinzas (%)	Lignina (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Carbono (%)	Hidrogênio (%)	Nitrogênio (%)
Idris <i>et al.</i> (2010)	4,5	-	-	-	40,9	5,4	1,5
Rahman <i>et al.</i> (2019)	-	19	37	26	47	-	0,9
Nasrin <i>et al.</i> (2017)	7.55 ± 4.39	-	-	-	42.99 ± 1.68	6.19 ± 0.36	0.64 ± 0.30
Law <i>et al.</i> (2007)	1.3 ± 0.2	18.8 ± 0.3	62.9 ± 2.0	28.0			
Surahmanto <i>et al.</i> (2020)	7,062	19,65	35,01	20,15	40,63	6,11	1,23
Mamimin <i>et al.</i> (2019)	-	25,6	38,8	33,9			
Mohammed <i>et al.</i> (2012)	3,45	30,45	22,24	20,58	46,62	6,45	1,21

Fonte: Os autores, 2022.

Em relação às fibras, diversos biomateriais estão sendo estudados com base na utilização deste resíduo. Raut e Gomez (2020) estudaram a utilização das fibras juntamente com pó de vidro para a produção de blocos de construção sustentáveis. Também existe a possibilidade da utilização dessas fibras para a produção de plásticos biodegradáveis, como o estudo de Khalid *et al.* (2008), que utilizou as fibras da palma como reforço do polipropileno.

Considerações finais

Segundo o estudo realizado, fica nítida a diferença anual na produção de óleo de palma no Brasil e na Nigéria, contudo, os dois países apresentam grande potencial de criação de biorrefinarias para a utilização dos resíduos gerados na produção de óleo de palma. No caso da Nigéria, de acordo com a avaliação espacial, o sul do país foi considerado o mais vantajoso para a criação de biorrefinarias, devido ao fácil acesso à coleta de resíduos das indústrias que também se concentram nessa área.

Conforme o que foi encontrado no balanço de massa, 67% dos resíduos que constituem o POME, 23% são de cachos vazios, 13% de fibras e 10% do caroço que, posteriormente, pode-se extrair o óleo de palmiste. Sendo assim, o POME é o resíduo que necessita de maior atenção, devido à sua alta produção e maior dificuldade para tratamento, apresenta também uma alta concentração de matéria orgânica e baixa relação de DBO:N (33:1). Consequentemente, esses parâmetros dificultam o processo de biodigestão anaeróbica. Contudo, foi constatada a viabilidade da utilização de um biodigestor de lagoa coberta em uma indústria de menor porte, produção média de 300 kg de óleo de palma e 670 kg de POME por dia, em relação ao volume do biodigestor em um tempo de retenção hidráulica de 30 dias.

Em relação às fibras e cachos vazios que são resíduos com alta concentração de material lignocelulósico, foram encontrados estudos que utilizaram processos como a pirólise para produção de bio-óleo e carvão vegetal e produção de biomateriais de construção sustentável. A utilização desses resíduos como adubo dos solos de plantação de palma também é uma alternativa vantajosa, visto que esses materiais se encontram dentro da relação C/N adequada para a compostagem.

Logo, a indústria de óleo de palma gera grande quantidade de resíduos que apresentam diferenças em suas composições químicas, tornando necessárias iniciativas de implementação de biorrefinarias para a utilização desses subprodutos no desenvolvimento sustentável.

Referências

ABRAPALMA – Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma. **A palma no Brasil e no mundo**. 2017. Disponível em: <http://www.abrapalma.org/pt/a-palma-no-brasil-e-nomundo/>. Acesso em: 28 de setembro de 2021.

ABRELPR - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 18 jul. 2019.

ARCGIS: Software. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2021.

ALHAJI, M. H. SANAULLAH, K. LIM, S. KHAN, A. HIPOLITO, C. ABDULLAH, M.O. BHAWANI, S. A. JAMIL, T. Photocatalytic treatment technology for palm oil mill effluent (POME) – A review. **Process Safety and Environmental Protection**. Vol. 102, Pag. 673-686. Julho, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0957582016300799>. Acesso em: 15 de agosto de 2022.

ALRAWI, R. A. AHMAD, A. ISMAIL, N. KADIR, M. O. A. Anaerobic co-digestion of palm oil mill effluent with rumen fluid as a co-substrate. **Desalination**. Vol. 269, Pag. 50-57. março 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0011916410007563>. Acesso em: 10 de julho de 2022.

ALVIM, J. C. ALVIM, F. A. L. S. SALES, V. H. G. SALES, P. V. G. OLIVEIRA, E. M. COSTA, A. C. R. Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos. **Journal of Bioenergy and Food Science**. Macapá, v.1, n. 3, p. 61-77, out./dez. 2014.

BOCKEN, N. M. P. *et al.* Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308-320, 2016.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.

FANG, C. THONG, S. P. BOE, T. ANGELIDAKI, I. Comparison of UASB and EGSB reactors performance, for treatment of raw and deoiled palm oil mill effluent (POME). **Journal of Hazardous Materials**. Vol. 189. Pag. 229-234. Maio 2011. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S030438941100210X>. Acesso em: 10 de junho de 2022.

FAVARO, S. P. MIRANDA, C. H. B. Aproveitamento de Espécies Nativas e seus Coprodutos no Contexto de Biorrefinaria. **Embrapa**. Brasília, DF. 2013.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Dossiê Óleos**. nº31, 2014. Disponível em: https://revista-fi.com/upload_arquivos/201606/2016060563192001464890846.pdf Acesso em: 15 de julho de 2022.

FONSECA, L. S. CAMPANHA, R. B. OLIVEIRA, M. E. C. MENDONÇA, S. **Caracterização química e física de resíduos industriais de dendê tenera e híbrido manicoré**. III Encontro de Pesquisa e Inovação da Embrapa Agroenergia: Anais. Brasil. 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151164/1/III-EnPI-2016-216-223.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2022.

FURLAN JÚNIOR, J.; TEIXEIRA, L.; OLIVEIRA, R. F. de. **Uso de engaços como fonte de nutrientes na cultura do dendezeiro**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34540/1/ORIENTAL-CirTec8.pdf>. Acesso em: 12 de agosto de 2022.

FURLAN JÚNIOR, J. **Dendê: Manejo e Uso dos Subprodutos e dos Resíduos**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA. 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/391512/1/Doc.246.pdf>. Acesso em: 12 de agosto de 2022.

GALVÃO, T. F. PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiol. Serv. Saúde**. v.23 n.1. Brasília, março, 2014. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742014000100018. Acesso em: 15 de julho de 2022.

GHAFFAR, S. H.; BURMAN, M.; BRAIMAH, N. Pathways to circular construction: an integrated management of construction and demolition waste for resource recovery. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 118710, 2020.

GUARAPÉ PECUÁRIA. **Fluxo do Processamento do Óleo de Palma com Balançamento de Massa Zero Waste**. [2021]. Disponível em: <http://denpasa.com.br/pt-br/>. Acesso em: dezembro de 2021.

GUARNIERI, P.; CERQUEIRA-STREIT, J. A.; BATISTA, L. C. Reverse logistics and the sectoral agreement of packaging industry in Brazil towards a transition to circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 153, p. 104541, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Agricultura, pecuária e outros**. Tabela 1613 - Área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras permanentes. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.

IDH SUSTAINABLE TRADE. **Oil palm production with benefits to smallholders through a Landscape Approach**. 2020. Disponível em: <https://www.idhsustainabletrade.com/landscapes/nigeria/#:~:text=SDM%20Case%20Study%3A%20Okomu%2C%20Nigeria,four%20largest%20palm%20oil%20producers>. Acesso: 12 de setembro de 2023.

IDRIS, S. S. RAHMAN, N. A. ISMAIL, K. ALIAS, A. B. RASHID, Z. A. ARIS, M. J. Investigation on thermochemical behaviour of low rank Malaysian coal, oil palm biomass and their blends during pyrolysis via thermogravimetric analysis (TGA). **Bioresource Technology**, 2010, v. 101, p. 4584-4592.

INFANTE, J. SELANI, M. M. TOLEDO, N. M. V. SILVEIRA-DINIZ, M. F. ALENCAR, S. M. SPOTO, M. H. F. Atividade Antioxidante de Resíduos Agroindustriais de Frutas Tropicais. **Alim. Nutr.= Braz. J. Food Nutr.**, Araraquara, v. 24, n. 1, p. 87-91, jan./mar. 2013.

KHADAROO, S. GRASSIA, P. GOUWANDA, D. POH, P. Is the dewatering of Palm Oil Mill Effluent (POME) feasible? Effect of temperature on POME's rheological properties and compressive behavior. **Chemical Engineering Science**. 202, p. 519-528. 2019.

KHALID, M. RATNAM, C. T. CHUAH, T. G. SALMIATON, A. CHOONG, T. S. Y. Comparative study of polypropylene composites reinforced with oil palm empty fruit bunch fiber and oil palm derived cellulose. **Materials and Design**. 29 p. 173–178. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S026130690600327X>>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

KHEMKHAO, M. TECHKARNJANARUK, S. PHALAKORNKULE, C. Simultaneous treatment of raw palm oil mill effluent and biodegradation of palm fiber in a high-rate CSTR. **Bioresource Technology**. Vol. 177, pag. 17-27, fev. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S096085241401654X#t0005>. Acesso em: 15 de junho de 2022.

KUNZ, A. STEINMETZ, R. L. R. AMARAL, A. C. **Fundamentos da Digestão Anaeróbia, Purificação do Biogás, Uso e Tratamento do Digestato**. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia, SC. 209 p. 2019.

LAM, M. K. LEE, K. T. Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): Win-win strategies toward better environmental protection. **Biotechnology Advances**. Vol. 29, pag. 124-141, ed. 1, jan-feb. 2011.

LAW, K. DAUD, W. R. W. GHAZALI, A. Morphological and chemical nature of fiber strands of Oil Palm Empty-Fruit-Bunch (OPEFB). **BioResources**. vol 2(3), P. 351-362. 2007.

LEITE, S. A. F.; LEITE, B. S.; CARRIÇO, C. S.; DELL'ISOLA, A. T. P.; DANGELO, J. V. H. Characterization of Biomass Residues Aiming Energy and by-Products Generation. **Chemical Engineering Transactions**. vol. 65, 733-738. 2018. DOI: 10.3303/CET1865123.

LOPES, J. M.; SAMPAIO, J. R. T. **Produção de biodiesel a partir da palma de óleo**. Caderno de Ciências Sociais Aplicadas. UESB, Vitória da Conquista, Bahia. Vol.17, nº 29, 23-36. 2020.

LUANGKIATTIKHUN, P.; TANGSATHITKULCHAI, C.; TANGSATHIHKULCHAI, M. Non-isothermal thermogravimetric analysis of oil-palm solid wastes. **Bioresource Technology**, 2008, v. 99, p. 986-997.

MAMIMIN, C. KONGJAN, P. O-THONG, S. PRASERTSAN, P. Enhancement of biohythane production from solid waste by co-digestion with palm oil mill effluent in two-stage thermophilic fermentation. **International Journal of Hydrogen Energy**. 2019. vol 44, p. 17224 - 17237.

MANDARINO, J. M. G. ROESSING, A. C. BENASSI, V. T. **Óleos – Alimentos Funcionais**. Embrapa. Londrina, PR. 2005.

MANTOVIC, M. D. **Biomass Now –Sustainable Growth and Use**. Croatia. 2013.

MOHAMMED, M. A. A. SALMIATON, A. WAN AZLINA, W. A. K. G. MOHAMAD AMRAN, M. S. Gasification of oil palm empty fruit bunches: A characterization and kinetic study. **Bioresource Technology**. 2012. vol. 110, p. 628–636.

MORAIS, J. P. S. MEDEIROS, E. P. DA SILVA, J. A. ROSA, M. F. FILHO, M. S. M. S. ALEXANDRE, L. C. CASSALES, A. R. SANTOS, M. A. **Valorização de Coprodutos da Cadeia do Dendê**. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, CE. 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/981759/1/DOC13009.pdf>. Acesso em: 11 de julho de 2022.

NAERLS, FDAE and P&PCD. **Agricultural Performance Survey Report of 2018 Wet Season in Nigeria**. Ahmadu Bello University Zaria Press. 310p. 2018.

NASRIN, A. B. VIJAYA, S. LOH, S. K. ASTIMAR, A. A. LIM, W. S. Quality compliance and environmental impact assessment of commercial empty fruit bunch (EFB) pellet fuel in Malaysia. **Journal of Oil Palm Research**. Vol. 29, p. 570 – 578. Dezembro, 2017.

NILSON, L.; PERSSON, P. O.; RYDÉN, L.; DAROZHKA, S.; ZALIAUSKIENE, A. **Cleaner Production: Technologies and Tools for Resource Efficient Production**. The Baltic University Press. 2007. ISBN 91-975526-1-5.

OLIVEIRA, A. L. P. C. **Termoconversão da fibra do dendê (Elaeis sp.) empregando etanol supercrítico**. Dissertação de pós-graduação em Engenharia de Processos da Universidade Tiradentes. Aracaju, SE. 2012.

PARENTE, V. M. JÚNIOR, A. R. O. COSTA, A. M. **Projeto Potencialidades Regionais – Estudo de Viabilidade Econômica – Dendê**. Fundação Getúlio Vargas (FGV); Superintendência da Zona Franca de Manaus – Suframa. Manaus, Amazonas. Julho, 2003. Disponível em: http://www.suframa.gov.br/publicacoes/proj_pot_regionais/dende.pdf

POH, P. E. CHONG, M. F. Upflow anaerobic sludge blanket-hollow centered packed bed (UASB-HCPB) reactor for thermophilic palm oil mill effluent (POME) treatment. **Biomass and Bioenergy**. Vol. 67, Pag. 231-242. Agosto, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0961953414002566>. Acesso em: 12 de julho de 2022.

POTTING, J. *et al.* **Circular economy: measuring innovation in the product chain**. The Hague: PBL Publishers, 2017.

RAHAYU, D. E. KARNANINGROEM, N. ALTWAY, A. SLAMET, A. Utilization of oil palm empty fruit bunches biomass through slow pyrolysis process. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**. 2021. Disponível em: <https://iopscience-iop.ez35.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1755-1315/913/1/012018/pdf>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

RAHMAN, N. BRUUN, T. B. GILLER, K. E. MAGID, J. DE VEN, G. W. J. NEERGAARD, A. Soil greenhouse gas emissions from inorganic fertilizers and recycled oil palm waste products from Indonesian oil palm plantations. **GCB - Bioenergy**. Vol. 11, Pag.1056-1074. Setembro, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez35.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1111/gcbb.12618>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.

RAUT, A. N. GOMEZ, C. P. Utilization of Glass Powder and Oil Palm Fibers to Develop Thermally Efficient Blocks. **Arabian Journal for Science and Engineering**. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13369-019-04316-5.pdf>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

RODRIGUES, J. A. R. **Do engenho à biorrefinaria**: a usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. **Quím. Nova**. Vol. 34, No. 7, 1242-1254, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/N8VRCFzyB_vJ74TmDfyVCYfG/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 29 de agosto de 2022.

ROSA, M. F. SOUZA FILHO, M. S. M. FIGUEIREDO, M. C. B. MORAIS, J. P. S. SANTAELLA, S. T. LEITÃO, R. C. **Valorização de Resíduos da Agroindústria**. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA. Foz do Iguaçu, PR. 2011.

SANTOS, J. F. O. R. **Análise Energética e Ambiental de Ciclo de Vida do óleo de palma na Colômbia**. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica. Brasil. setembro, 2008. Disponível em: https://eg.uc.pt/bits-tream/10316/20343/1/Jaime_Santos_1998115828_2008_rf.pdf. Acesso em: 12 de setembro de 2022.

SURAHMANTO, F. SAPTOADI, H. SULISTYO, H. ROHMAT, T. A. Investigation of the pyrolysis characteristics and kinetics of oil-palm solid waste by using Coats-Redfern method. **Energy Exploration & Exploitation**. 2020, Vol. 38(1) 298–309.

SOUZA, C. F. CARVALHO, C. C. S. CAMPOS, J. A. MATOS, A. T. FERREIRA, W. P. M. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Ceres**. 56(2): 128-133. 2009.

USDA - United States Department of Agriculture. **Palm Oil Explorer**. 2020. Disponível em: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodity-View.aspx?cropid=4243000&sel_year=2020&rankby=Production. Acesso em: 15 de agosto de 2022.

VAZ JUNIOR, S. As Biorrefinarias como Oportunidade de Agregar Valor à Biomassa. Embrapa. **Agroenergia em Revista**. Brasil. 2012. Disponível em: <https://data.gessulli.com.br/file/2013/01/08/E142913-F00001-Y747.pdf>. Acesso em: 29 de agosto de 2022.

WILSON, L. YANG, W. BLASIAK, W. JOHN, G. R. MHILU, C. F. Thermal characterization of tropical biomass feedstocks. **Energy Conversion and Management**. v. 52, p. 191–198. 2011.

WU, T. Y.; MOHAMMAD, A. W.; JAHIM, J. M.; ANUAR N. A holistic approach to managing palm oil mill effluent (POME): Biotechnological advances in the sustainable reuse of POME. **Biotechnology Advances**, v. 27, n.1, p. 40-522, 2009.

PARTE III – PESQUISA E APLICAÇÕES EM BIOENERGIA

Esta seção a clara o potencial da biomassa como fonte de energia sustentável. Começamos por explorar a utilização integrada de resíduos de origem animal e vegetal, procurando perceber o potencial energético contido nesses recursos. O capítulo seguinte se lança pelo mundo industrial, examinando o uso de biomassa em processos de calcinação. E, por meio dessas explorações, pretendemos lançar luz sobre a interseção da ciência, indústria e sustentabilidade e a promessa da bioenergia na reformulação de nosso paradigma energético.

COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DE BIOMASSA DE ORIGEM ANIMAL A PARTIR DO USO INTEGRADO DE RESÍDUOS DE ORIGEM VEGETAL

Brenno Santos Leite
Sibele Augusta Ferreira Leite

Apresentação

Observa-se que, atualmente, há um crescente interesse no desenvolvimento de fontes energéticas alternativas e na cogeração de energia a partir de resíduos, visando gerar combustíveis e matérias-primas para indústrias. Utilizar resíduos agropecuários de origem vegetal e animal é uma alternativa interessante, pois resolve a questão da disposição e valoriza os resíduos a partir da geração de novos produtos.

Introdução

A expansão acentuada do consumo de energia, resultante da elevação do consumo e da necessidade econômica, vem acarretando uma necessidade de busca por novas fontes de recursos energéticos. Essa busca baseia-se em elevados investimentos a nível mundial em pesquisa de fontes renováveis e alternativas de energia. Concomitantemente, soma-se a essa necessidade o agravamento dos problemas ambientais gerados pelo elevado consumo de combustíveis fósseis.

Outro problema atual de grande relevância é a elevada produção de resíduos e o deficiente reaproveitamento deles. Casos específicos são os resíduos agrícolas, cuja produção cresce exponencialmente com o aumento da população, e a biomassa de origem animal, proveniente da produção em escala industrial de alimentos de origem animal, que acarretam sérios problemas ambientais. Portanto, faz-se necessário realizar esforços para o aproveitamento destes resíduos para agregar valor às cadeias produtivas e reduzir possíveis impactos ambientais negativos.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) (2015), aproximadamente 44% da energia consumida no Brasil é proveniente de fontes não renováveis. Ressalta-se que, além de ser uma fonte finita, o consumo em grande escala destes *commodities* gera severos problemas ambientais.

Segundo o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), o termo biomassa foi proposto por Eugene Adam e é definido como material produzido por todos os seres vivos (animais, vegetais, fungos e protistas) em seus diferentes processos (Bristoti & Silva, 1993; Johansson *et al.*, 1993; Wereko-Brobby & Hagen, 1996).

Segundo Nogueira (2008) e Lora (2008), a biomassa é a matéria vegetal oriunda da fotossíntese, a qual contém energia química procedente da transformação energética da radiação solar. Quando os laços adjacentes entre moléculas de carbono, hidrogênio e oxigênio são quebrados por combustão, digestão ou decomposição, essas substâncias liberam sua energia química armazenada. Dentre a biomassa vegetal, destacam-se os resíduos agrícolas, que, segundo Werther *et al.* (2000), apresentam um alto potencial de energia. A carbonização da biomassa vegetal resulta em outra fonte de energia renovável, o carvão vegetal, que é bastante utilizado no Brasil em especial na indústria siderúrgica.

A biomassa mais utilizada atualmente para produção de carvão vegetal é a lenha ou resíduos de madeira oriundos da produção de celulose, conhecidos como cavacos; a energia oriunda desse processo representa aproximadamente 9 % da matriz energética brasileira. O objetivo desta conversão é transformar um material carbonáceo de baixa eficiência energética para uma eficiência economicamente viável. No entanto, para que este objetivo seja atingido, é necessário realizar uma caracterização da biomassa, ou seja, conhecer suas propriedades, para que haja uma melhor escolha da biomassa adequada e, consequentemente, da tecnologia de conversão.

É importante ressaltar que o Brasil possui condições naturais e geográficas favoráveis à produção de biomassa, podendo assumir posição de destaque no cenário mundial na produção e no uso como recurso energético. Devido à sua situação geográfica, o país recebe intensa radiação solar ao longo do ano. A energia solar é fundamental para a produção de biomassa, assim como para alimentação e para fins agroindustriais. Outro aspecto importante é que o país possui grande quantidade de área agricultável, com boas características de solo e condições climáticas favoráveis. No entanto, é necessária a conjugação de esforços no sentido de que essa produção, ou o seu incremento, seja realizada de maneira sustentável, tanto do ponto de vista ambiental quanto social (MMA, 2013).

Esse cenário propiciou essa discussão sobre o comportamento energético da combustão integrada de biomassa de origem animal com resíduos de produção agrícola, visando identificar combinações que possuam uma maior eficiência energética na cogeração de energia.

Biomassa

Conforme informado pelo CENBIO (2013), Eugene Adam foi o responsável por introduzir o termo biomassa, definido como o conjunto de materiais produzidos por todos os seres vivos - incluindo animais, plantas, fungos e protistas - em seus diversos processos biológicos (Bristoti & Silva, 1993; Johansson *et al.*, 1993; Wereko-Brobby & Hagen, 1996).

Alguns autores definem biomassa como qualquer material derivado da vida vegetal e que seja renovável em um período inferior a 100 anos (Probstein & Hicks, 1982; Klass, 1998). Portanto, a maioria dos recursos energéticos, como o petróleo, carvão mineral e xistos betuminosos não são considerados renováveis, apesar de serem derivados da vida vegetal.

Fonseca (2009) define, de forma abrangente, a biomassa como sendo qualquer combustível ou matéria bruta derivada de organismos que estiveram vivos recentemente. Com exceção de algumas microalgas e matérias com altos índices de umidade, a biomassa se caracteriza, essencialmente, por ser uma matéria carbonada em estado sólido.

Outra definição, semelhante às supracitadas, é apresentada por Nogueira e Lora (2003), os quais consideram a biomassa, de forma mais abrangente, como sendo todo material de origem orgânica, como, por exemplo, madeira, detritos animais e resíduos orgânicos, sendo de grande interesse os resíduos agrícolas como a casca de arroz, a serragem e o bagaço da cana-de-açúcar.

Como nos combustíveis convencionais, a energia oriunda de biomassa é a energia química associada com os átomos de carbono e hidrogênio que foram as moléculas orgânicas oxidáveis. Parte dessa energia pode, contudo, ser degradada pela formação de produtos intermediários e haverá, de fato, perdas associadas à conversão da biomassa em um combustível tradicional (Fonseca, 2009).

Estudos da avaliação da capacidade calorífica de diferentes tipos de biomassa podem ser encontrados na literatura, podendo ser observadas evoluções da variação dos materiais e nos processos de aproveitamento (Parparija *et al.*, 2014; Turley, 2008; Naceur *et al.*, 2004, Amado *et al.*, 2021).

Biomassa oriunda da agricultura

São considerados resíduos de origem agrícola aqueles que apresentam grande potencial para serem utilizados na produção de energia, como resíduos de culturas agrícolas e de seu beneficiamento, ou palhas, cascas de frutos, cereais, bagaços, resíduos das podas de pomares e vinhas, rejeitos madeireiros, entre outros (Saiter, 2008).

Segundo Matos (2005), a produção de resíduos agrícolas é variável, pois depende da espécie cultivada, do destino dela, das condições climáticas e da fertilidade do solo, entre outros. O conteúdo de nutrientes dos resíduos de culturas também pode variar, pois, assim como a produção, dependem da fertilidade do solo e do tipo de material.

Segundo Nonhebel (2007), as biomassas mais significativas em termos de energia são aquelas obtidas de culturas energéticas e resíduos agrícolas, que se originam do material vegetal gerado no sistema de produção de *commodities* agrícolas. Observa-se na Tabela 1 a produção agrícola, bem como a quantidade de resíduos que ela gera.

Tabela 1 – Disponibilidade de Resíduos Agroindustriais no Brasil

Matéria Prima	Produção Agrícola (Mt)*	Produção Média de Resíduos (%m) **	Umidade Média (%m)	Produção Média de Biomassa (t)***
Cana (bagaço)	396,012	10,00	50	19801,000
Arroz (casca)	10,334	5,00	25	129,000
Mandioca (rama)	21,961	8,00	12	221,000
Milho (palha e sabugo)	48,327	7,00	25	785,000
Soja (restos de cultura)	51,919	4,00	15	275,000

Fonte: * IBGE 2015; ** Nogueira *et al* (2007); *** Calculado em base seca.

Processos de cogeração de energia

A bioconversão da biomassa lignocelulósica em etanol envolve basicamente dois processos: hidrólise da celulose para redução dos açúcares fermentáveis e a fermentação dos açúcares em etanol. A hidrólise é catalisada por enzimas celulasas e a fermentação, por fungos ou bactérias (Mosier *et al.*, 2005).

Para que a hidrólise enzimática da celulose seja eficiente, é necessário que as enzimas consigam alcançar a celulose. No entanto, a parede celular vegetal é impermeável a grandes moléculas, incluindo proteínas, como as celulasas. Para romper essa barreira, é necessário desconstruir a parede celular da planta por métodos de pré-tratamento (Canilha *et al.*, 2010). O objetivo do pré-tratamento é alterar a estrutura de biomassa celulósica e, conseqüentemente, tornar a celulose mais acessível para as enzimas que convertem os polímeros de carboidratos em açúcares fermentáveis. Além disso, o pré-tratamento visa remover a lignina e hemicelulose, reduzindo a cristalinidade da celulose e aumentando a porosidade e a área superficial do material (Canilha *et al.*, 2010; Mosier *et al.*, 2005).

Na bioconversão de celulose em bioetanol, um pré-tratamento é considerado eficiente se a acessibilidade ao ataque biológico, isto é, das enzimas, é potencializada e a formação dos coprodutos inibidores é mitigada. Existem vários tipos de pré-tratamentos que podem ser usados para aumentar a suscetibilidade da associação celulose-hemicelulose-lignina e, assim, melhorar a hidrólise enzimática. Esses pré-tratamentos podem ser processos físicos, biológicos ou químicos,

os quais, cada um com seus diversos processos. Um resumo que descreve as principais vantagens e limitações dos processos de conversão de biomassa encontram-se descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo de processos de pré-tratamentos de biomassa lignocelulósicas

Processos	Vantagens	Limitações
Mecânico	Reduz a cristalinidade da celulose	Consumo de energia geralmente maior do que a energia da biomassa inerente.
Explosão por vapor	Degrada hemicelulose e lignina: custo-benefício	Destruição de uma parte da fração xilana; ruptura incompleta da matriz lignina-carboidratos; geração de compostos inibitórios para microorganismos
Explosão por CO ₂	Aumenta a área superficial acessível; custo-benefício; não causa a formação de compostos inibitórios	Não modifica a lignina e a hemicelulose
Ozonólise	Reduz o teor de lignina; não produz resíduos tóxicos	Necessidade de grande quantidade de ozônio; custo alto
Hidrólise ácida	Hidrolisa hemicelulose em açúcares xilose e outros; altera a estrutura da lignina	Alto custo; corrosão de equipamentos; formação de substâncias tóxicas
Hidrólise alcalina	Remove lignina e hemicelulose; aumenta a área superficial acessível	Exige longos tempos de permanência; formação de sais irrecuperáveis e incorporação em biomassa
Organosolv	Hidrolisa lignina e hemicelulose	Solventes precisam ser drenados no reator, evaporado, condensado e reciclado; alto custo
Pirólise	Produce produtos de gás e líquido	Alta temperatura; produção de cinzas
Campo elétrico pulsado	Condições ambientais; rompe as células vegetais	Processo necessita de mais pesquisas
Biológico	Degrada a lignina e hemiceluloses; requer baixas energias	Taxa de hidrólise é muito baixa

Fonte: Alvira, *et al.* 2010.

Desenvolvimento

Quantificação e qualificação biomassas

Inicialmente, realizou-se um levantamento dos resíduos agroindustriais produzidos na UFV – *Campus* Florestal. Essa investigação foi realizada entre os anos de 2014 e 2020, visando avaliar o potencial energético de biomassas para conversão energética.

Para este levantamento, realizou-se visitas periódicas *in loco*. Dentre os objetivos, destaca-se o levantamento da origem do resíduo (animal ou vegetal), a procedência, a sazonalidade, a quantidade gerada e a observação de relevância em relação ao processo de produção, além do registro fotográfico das condições de funcionamento e do processo de produção. Esses dados obtidos foram compilados conforme descrito na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3 – Propriedades e respectivas metodologias

Propriedade	Técnica e equipamento utilizados	Equipamento (diponível no <i>campus</i>)
Teor de sólidos voláteis	Secagem de uma massa conhecida de dejetos em temperatura controlada (100 °C) até massa constante	Balança Digital Metler AB204 (10 ⁻⁴ g)
Acidez	Solubilização da amostra em H ₂ O e determinação por potenciometria	pHmêtro
Teor de Umidade	Metodologia analítica de desidratação em atmosfera controlada, a 105 °C ± 0,5 °C por 12 horas	Estufa
Teor de cinzas	Degradação térmica em atmosfera controlada a 850 °C por 1 hora	Mufla
Poder Calorífico	Combustão em atmosfera oxidante	Bombas Calorimétrica C200 (IKA)

Fonte: Os autores, 2022.

Amostragem e preparação das amostras

Os resíduos foram inicialmente secados por uma semana em local arejado, à sombra e, posteriormente, em uma estufa a 105°C por 24 horas, observando a curva de secagem realizada experimentalmente. Os resíduos secos foram moídos com o auxílio de um sistema de moedor e, em seguida, peneirados (peneira com malha de 50 *mesh*) para completa homogeneização.

Caracterização físico-química dos resíduos

Com o objetivo de reduzir a geração de resíduos, bem como melhor reaproveitá-los, observa-se esforços crescente de pesquisas científicas para avaliar a viabilidade da transformação destes, até então considerados apenas resíduos industriais para posterior aproveitamento em geração de energia. Entretanto, cada resíduo possui características físico-químicas que, experimentalmente, podem apresentar um resultado de geração de energia muito viável para implementação na geração de energia futura.

As caracterizações físico-químicas foram realizadas nas amostras secas e pulverizadas. As análises estão descritas na Tabela 3 e foram realizadas segundo a metodologia recomendada para resíduos, em triplicata, seguindo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995) e, para teste de combustão, seguindo a ASTM D240.

Análises químicas

É composta por quatro tipos de análises: % de umidade, % de cinzas, % de matéria volátil e de carbono fixo, que serão detalhadas nos tópicos seguintes (Tabela 4). Com a análise imediata, obtém-se a quantidade relativa dos compostos orgânicos leves (matéria volátil), em oposição à matéria orgânica não volátil (carbono fixo). Além disso, é possível determinar a quantidade de umidade no carvão e dos compostos inorgânicos na forma de resíduos ou cinzas quando este é submetido à combustão. Sendo que, os resultados são expressos normalmente em uma base seca (% m/m).

Tabela 4: Propriedades e respectivas metodologias

Propriedade	Técnica e equipamento utilizados	Equipamento (diponível no <i>campus</i>)
Percentual de Sólidos Voláteis	Secagem de uma massa conhecida de dejetos em temperatura controlada (100 °C) até massa constante	Mufla e balança analítica
Percentual de Carbono Fixo	Calculado a partir da soma das porcentagens de umidade, cinza e matéria volátil, subtraído de 100 %	Mufla e balança analítica

Fonte: Os autores, 2022.

Poder calorífico

De acordo com a norma ASTM D 2015 (1991), esse método determina o calor produzido pela combustão de uma quantidade unitária de uma substância sob condições específicas. A análise baseia-se na combustão de uma amostra sob atmosfera de oxigênio em uma Bomba Adiabática Calorimétrica. O procedimento consiste em colocar um cilindro dentro de uma quantidade de água conhecida e com uma temperatura pré-definida. O acréscimo da temperatura dessa água causado pela combustão é monitorado. O valor real é então comparado com uma amostra de referência (ácido benzóico).

Para otimizar o processo de combustão, o cilindro é preenchido com oxigênio puro (99,95%) em uma pressão de 30 bar. O valor do poder calorífico de uma determinada amostra é dado pelo cálculo do acréscimo da temperatura da água no interior da bomba depois que a ignição da combustão da amostra ocorre dentro do cilindro. O valor do poder calorífico da amostra é calculado pela Equação 1:

$$C = \frac{H_{ob} \cdot m}{\Delta T} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde C representa o Poder Calorífico da amostra; H_{ob} representa o Poder calorífico do ácido benzóico; m representa a massa da amostra; ΔT representa o aumento da temperatura durante a combustão da amostra.

Capacidade energética das amostras integradas

Com base nos resultados obtidos foi discutido a possibilidade da realização de testes em escala piloto para avaliação da possibilidade do uso de biomassas integradas na geração de energia. Neste caso, será considerado além do ganho energético, as possíveis emissões e respectivas melhorias que podem ser obtidas com o uso deste combustível alternativo.

Os resíduos selecionados para essa investigação foram divididos em dois perfis: i) Origem vegetal (Tabela 5) e ii) Origem animal (Tabela 6). As informações coletadas foram divididas nas seguintes informações: produto, sazonalidade e resíduo em potencial. Todas as informações referem-se a produtos agrícolas oriundos da instituição onde foi realizado o estudo.

Tabela 5 – Produtos, sazonalidade e características do resíduo identificado no local de estudo

Produto	Sazonalidade	Resíduo
Soja	Duas safras anuais	A casca é a camada exterior da semente de soja e é um subproduto gerado durante o processo de processamento da soja para a obtenção do óleo e farelo. Ela é frequentemente usada como ração animal.
Indústria de Aglomerados e Compensados	Produção diária	O pó de serragem é produzido em duas unidades: i) manutenção do campus onde é feito consertos em móveis de madeira; ii) na serraria da universidade, onde é realizada a serragem de toras de eucalipto.
Arroz	Duas safras anuais	A produção de arroz visa a aplicação de metodologias agronômicas para ensino. A relação de massa de casca para a massa de arroz é de aproximadamente 18:1.
Farelo de milho	Duas safras anuais	O resíduo utilizado foi o milho excedente da alimentação dos animais, em especial, da preparação no misturador. Como o processo envolve a vibração, uma fração do material é perdido.
Bambu	Durante todo o ano	O bambu é uma planta de origem nacional que desenvolve em torno de áreas de elevada umidade. No campus, pode-se observar grandes áreas tomadas por bambu
Bananeira	Durante todo o ano	No campus pode-se observar área de plantio de banana, esta produção chamou a atenção pois, na produção industrial de bananas somente o fruto partenocárpico é utilizado, sendo que, o caule e demais partes são apenas cortados e desprezados no meio

Produto	Sazonalidade	Resíduo
Eucalipto	Anualmente	A produção de eucalipto da universidade tem o objetivo de produzir lenha para atender as caldeiras do refeitório e da agroindústria. Uma fração é mantida por um tempo superior para uso em manutenção e demais serviços de serraria e carpintaria do campus.

Fonte: Os autores, 2022.

Os resíduos foram inicialmente secos por uma semana em local arejado, à sombra e, posteriormente, em uma estufa a 105°C por 24 horas, observando a curva de secagem realizada experimentalmente. Os resíduos secos foram moídos com o auxílio de um sistema de moedor e, em seguida, peneirados (peneira com malha de 50 mesh) para completa homogeneização.

Tabela 6 – Quantificação e qualificação de resíduos de origem animal

Resíduo	Sazonalidade	Produção (ton.ano-1)	Resíduo
Resíduo da Bovinocultura	Durante todo o ano	230	A bovinocultura da universidade é dividida em duas vertentes, a produção de gado leite e a produção de gado de corte. Ressalta-se que o gado de leite é tratado em regime que intercala alimentação em confinamento e pastoreio. Portanto, somente foi quantificada a produção de resíduo de gado de leite.
Cama de Frango	Durante todo o ano	120	A avicultura da universidade é direcionada a atender a demanda do refeitório e a produção de carne e ovos para consumo e venda (produção residual). A cama de frango é um material com um alto potencial de uso, visto que, e comporta por uma grande quantidade de matéria orgânica e resíduo lignocelulósico (em especial, casca de arroz). Portanto, apresenta um elevado potencial para o uso em processos de aproveitamento energético.

Fonte: Os autores, 2022.

Com base nos resíduos selecionados, passou-se à etapa de caracterização dos componentes para determinar o potencial energético de cada material selecionado. Os resultados experimentais, com os respectivos tratamentos estatísticos, são representados pelos valores médios e os respectivos desvios padrões obtidos para os parâmetros analisados experimentalmente encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros experimentais da série sólido analisados

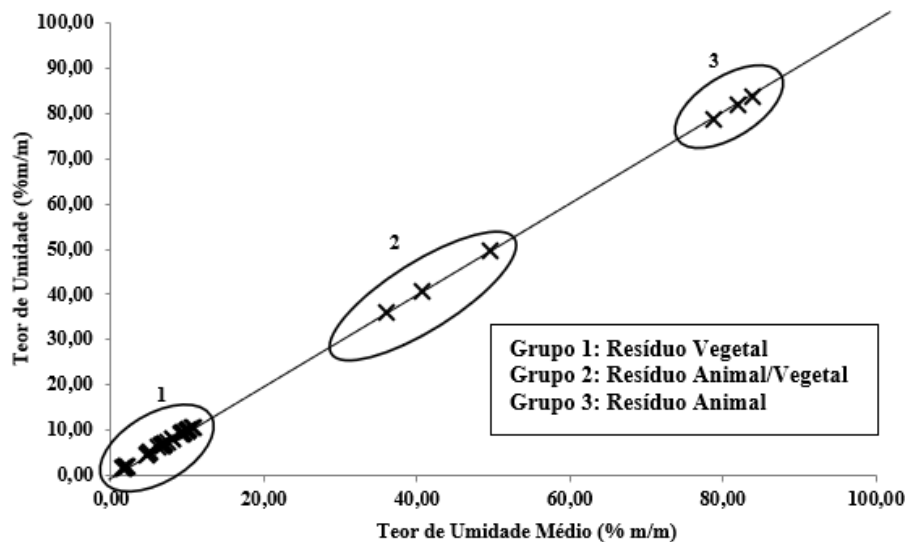
Amostra	Teor de umidade (%m/m)		Teor de cinzas (%m/m)		Teor de sólidos voláteis (%m/m)		Teor de carbono fixo (%m/m)	
	Média	Des. Padrão	Média	Des. Padrão	Média	Des. Padrão	Média	Des. Padrão
Bagaço de soja	6,8802	0,0839	7,3802	0,0670	7,4562	0,7736	78,2834	0,7541
Pó de serragem	7,0448	0,3234	12,1515	0,0815	7,1065	0,5719	73,6971	0,2130
Casca de arroz*	6,4513	0,2266	1,4665	0,1120	19,4727	0,6259	72,6095	0,6523
Farelo de milho	8,4008	0,6831	6,6624	0,0105	3,6119	0,9258	81,3249	0,9365
Bambu	1,7943	0,2290	3,0546	0,2775	5,1897	0,6556	89,9613	0,3046
Pseudo- docaule bananeira	11,8446	0,2265	11,5551	1,3254	9,7014	0,1014	66,8989	1,5942
Folha de bambu	9,8628	0,4458	2,8292	0,0560	9,3575	1,1336	77,9505	1,0179
Casca de eucalipto	9,5716	0,3522	0,5109	0,2003	9,3270	0,4983	80,5905	0,5182
Casca de arroz	4,8443	0,2616	8,3948	0,4823	61,3646	0,6322	25,3964	0,3714
Fava de feijão	10,4226	0,4783	34,0529	0,3505	12,2217	2,6747	43,3028	2,2152
Cama de frango	42,1109	6,8952	26,4272	0,2104	18,0359	1,1917	13,4261	8,0915
Resíduo bovino	64,8537	3,5022	9,4246	0,1843	14,6288	0,5495	11,0929	4,0018

* *in natura* **carbonizada

Fonte: Os autores, 2022.

A seguir, serão abordados os resultados experimentais referentes a cada um dos parâmetros examinados. Começaremos esta fase ao avaliar os resultados obtidos para o nível de umidade, conforme demonstrado na Figura 1. Ressalta-se que os resíduos foram organizados em 3 grupos: i) Grupo 1: Resíduo Vegetal; ii) Grupo 2: Resíduos Vegetal e Animal; iii) Grupo 3: Resíduo Animal.

Figura 1 – Valores médios de teor de umidade obtidos a partir dos resultados experimentais nas amostras analisadas comparadas aos valores médios determinados na literatura



Fonte: IBGE, 2015.

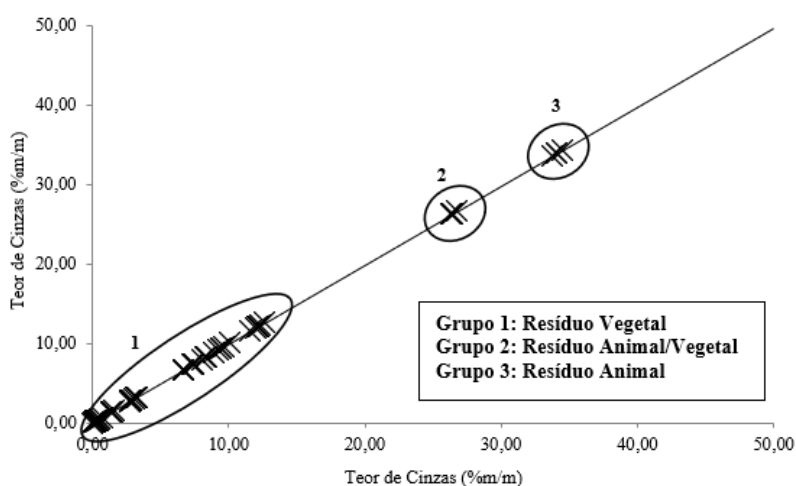
No grupo 1, estão representados os resíduos lignocelulósicos, oriundos em grande parte da agricultura. Com o processo de beneficiamento, tem-se a secagem/desidratação do material com uma técnica muito utilizada, com o objetivo de aumentar a vida útil dos *commodities*, espera-se que ao final do processo produtivo tem-se produtos e resíduos com baixa umidade.

No grupo 2, observa-se que o teor de umidade é bem superior (entre 40 e 60 %m/m). Isso ocorre porque o resíduo compreendido no grupo 2 é proveniente da avicultura. Esse resíduo denominado “cama de frango” é composto por material lignocelulósico e fezes das aves. Na unidade de produção da UFV *Campus* Florestal, usa-se a casca de arroz para compor a cobertura dos galpões de criação de frango, com o objetivo de absorver a umidade oriunda das fezes das aves. Portanto, como o material é higroscópico, tem-se a elevação da umidade nas amostras.

O grupo 3 representa o resíduo da bovinocultura, que consiste no excremento do animal após o processo digestivo. Portanto, tem-se elevada umidade, visto que, muitas vezes, é composto de resíduos da ingestão de capim e de ração enriquecida (soja, milho, sorgo) e água. Ressalta-se que o material foi colhido logo após o animal ter expelido.

Em continuidade a esta etapa, encontram-se os resultados experimentais obtidos para o parâmetro Teor de Cinzas, conforme pode-se observar na Figura 2.

Figura 2 – Valores médios de teor de cinzas obtidos a partir dos resultados experimentais nas amostras analisadas comparadas aos valores médios determinados na literatura



Fonte: IBGE, 2015.

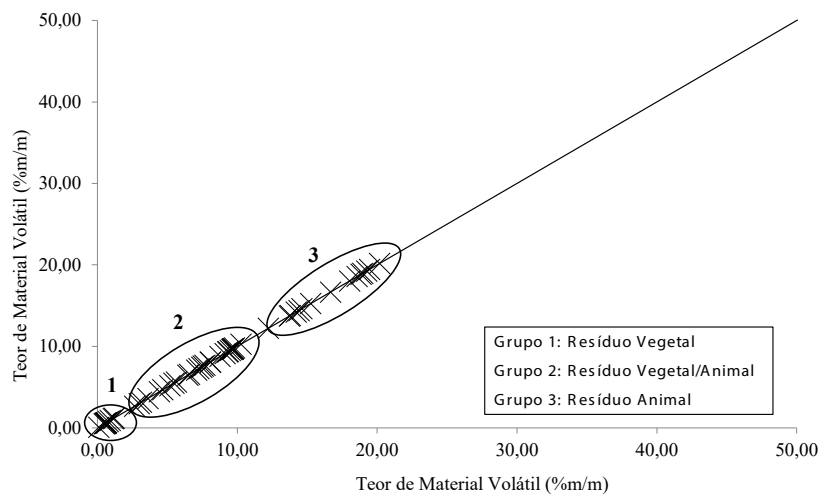
Na Figura 2, podemos observar os resultados experimentais referentes ao teor de cinzas. No Grupo 1, é evidente que a maioria dos materiais analisados apresenta teores de cinzas variando entre 2 e 13% em massa, o que é coerente, considerando que estamos lidando com resíduos orgânicos provenientes de *commodities* agrícolas. Portanto, é esperado que haja uma baixa presença de materiais inorgânicos nesses casos.

No Grupo 2, estão registrados os resultados para o resíduo da avicultura, conhecido como “cama de frango”. Esse resíduo é composto por cascas de arroz, que possuem um percentual significativo de componentes inorgânicos, especialmente o silício. Além disso, devido à presença das fezes das aves e ao processo de limpeza do piso, que envolve a raspagem, é natural que haja um maior teor de cinzas nesse grupo.

No Grupo 3 são representados os resíduos de origem animal. Esses resultados são passíveis de uma avaliação mais aprofundada, a fim de qualificar e quantificar os resíduos contidos nas cinzas. Isso possibilitaria o estudo do potencial de valorização desse resíduo de maneira mais abrangente.

Em continuidade, encontram-se os resultados experimentais obtidos para o parâmetro Teor de Material Volátil, conforme pode-se observar na Figura 3.

Figura 3 – Valores médios de teor de material volátil obtido a partir dos resultados experimentais nas amostras analisadas comparadas aos valores médios determinados na literatura



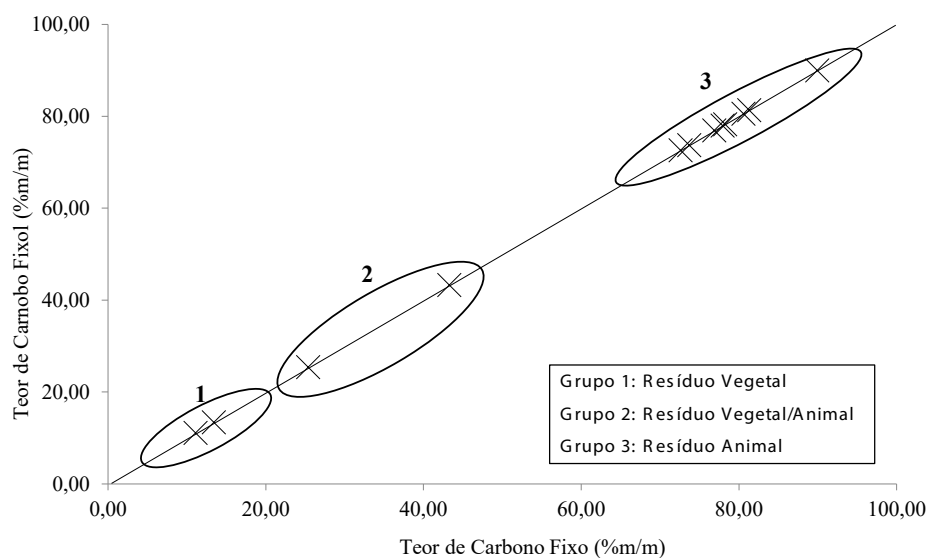
Fonte: IBGE, 2015.

A técnica termogravimétrica de determinação do teor de material volátil permite a degradação por curto espaço de tempo, possibilitando determinar a massa de material orgânico de cadeia curta que são degradadas quando submetidas a aquecimento. Em todos os grupos (1, 2 e 3 respectivamente), observam-se resultados para materiais voláteis existentes nas amostras entre 2 e 20% m/m total do resíduo seco. Esse resultado é animador, porém, é necessário um estudo mais aprofundado para determinar a composição orgânica dos materiais que são degradados nessas condições, a fim de determinar as metodologias capazes de recuperar esses materiais. Dessa forma, pode-se afirmar que todos os resíduos oriundos da agricultura possuem a possibilidade de serem valorizados.

Para finalizar a apresentação dos resultados experimentais obtidos para a “série sólidos” dos materiais estudados, serão apresentados os dados obtidos para o Teor de Carbono Fixo. Esse parâmetro possui muita relevância para alcançar o objetivo do projeto, pois o potencial calorífico está diretamente relacionado à quantidade de carbono presente na amostra. Desse modo, espera-se

que elevados teores de carbono influenciem no poder calorífico dos materiais. Os resultados experimentais obtidos para o parâmetro Teor de Carbono Fixo podem ser observados na Figura 4.

Figura 4 – Valores médios de teor de carbono fixo obtido a partir dos resultados experimentais nas amostras analisadas comparadas aos valores médios determinados na literatura



Fonte: IBGE, 2015.

Como supracitado, o teor de carbono fixo é um parâmetro muito importante quando relacionado ao poder calorífico, pois a combustão depende da quantidade de carbono no material.

O grupo 1 é representado, respectivamente, pela casca de arroz carbonizada e pela fava de feijão, que são resíduos de origem vegetal. Em relação à casca de arroz carbonizada, esperava-se esse baixo teor de carbono fixo, visto que o material já passou por um processo de degradação térmica, o que reduz a quantidade de carbono presente, concomitante com o elevado teor de cinzas.

O grupo 2 é representado por grande maioria dos resíduos analisados, que apresentam elevados teores de carbono fixo. Nesse grupo de materiais, esperam-se os melhores resultados para poder calorífico.

Finalizando a análise do teor de carbono fixo, tem-se que o grupo 3 representa os resíduos oriundos da produção animal (bovinocultura). Como esses resíduos possuem elevados teores de umidade e elevados teores de inorgânicos, era esperado baixos teores de carbono fixo. Dessa forma, não se pode esperar um poder calorífico elevado para esses materiais.

Em sequência ao desenvolvimento deste trabalho, são apresentados os valores obtidos para o poder calorífico das amostras analisadas. Estes resultados podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação dos valores médios obtidos experimentalmente e na literatura para Poder Calorífico Superior (PCS)

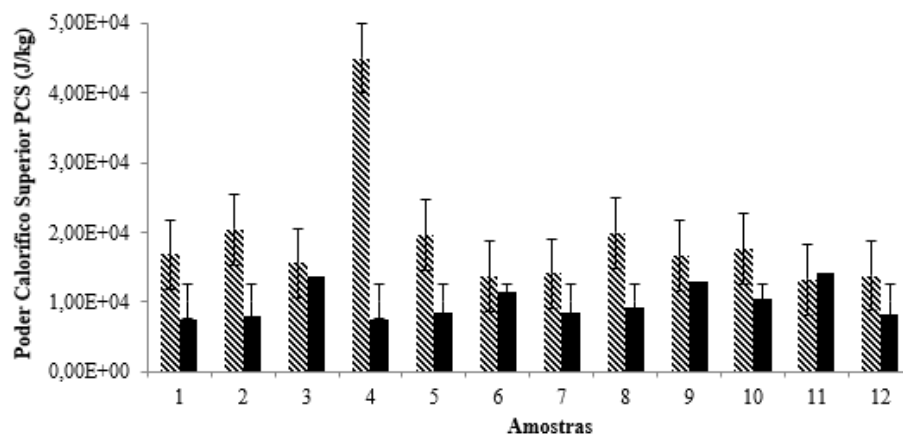
Material	Poder Calorífico Superior PCS(J/kg)		Referência
	Valor Médio Experimental	Valor Médio Literatura	
Bambu	8.567,52	19.599,00	ABNT (1984)
Bananeira	11.497,93	13.700,00	MAIA (2013)
Cama de Frango	14.229,83	13.264,29	JUNQUEIRA <i>et al.</i> (2012)
Casca de Arroz	12.968,26	16.652,32	DINIZ <i>et al.</i> (2004)
Casca de Arroz*	13.745,04	15.606,32	QUIRINO <i>et al.</i> (2005)
Casca de Eucalipto	9.262,62	19.915,84	QUIRINO <i>et al.</i> (2005)
Farelo de Milho	7.614,24	44.962,94	PATIL E DANG, (2009)
Fava de Feijão	10.607,92	17.650,33	PAULA (2010)
Folha de Bambu	8.567,52	14.099,30	ABNT (1984)
Pó de Serragem	8.139,95	20.417,92	QUIRINO <i>et al.</i> (2005)
Resíduo Bovino	8.266,27	13.833,00	MORALES (2006)
Soja	7.559,31	16.855,41	PAULA (2010)

* in natura

Fonte: Os autores, 2022.

Como observado na Tabela 8, em certos casos, os resultados experimentais aproximam-se muito dos valores obtidos na literatura. Porém, na grande maioria, pode-se afirmar que os resultados experimentais foram bem inferiores aos avaliados na literatura. A norma ASTM D 2015 (1991) determina a rotina experimental para a realização do teste, porém, não regulamenta sobre a forma de apresentação da amostra, o que pode causar divergência entre os resultados (tamanho da amostra: compactada, dispersa, grânulos, briquetes). Na Figura 5, são comparados os resultados experimentais aos obtidos na literatura com os respectivos desvios padrão.

Figura 5 – Comparação dos valores experimentais e obtidos na literatura para poder calorífico superior (PCS) e respectivos desvios padrão



Fonte: Os autores, 2022.

Com base neste resultado, pode-se avaliar a possibilidade de integração de resíduos de forma a avaliar as melhores integrações, para que possa obter os maiores valores de poder calorífico. Estes resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Avaliação do Poder Calorífico Superior (PCS) de amostras integradas

Amostra													
Amostra		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	8.568	11.498	14.230	12.968	13.745	9.263	7.614	10.608	8.568	8.140	8.266	7.559
	2	20.065	11.498	25.728	24.466	25.243	20.761	19.112	22.106	20.065	19.638	19.764	19.057
	3	22.797	25.728	14.230	27.198	27.975	23.492	21.844	24.838	22.797	22.370	22.496	21.789
	4	21.536	24.466	27.198	12.968	26.713	22.231	20.583	23.576	21.536	21.108	21.235	20.528
	5	22.313	25.243	27.975	26.713	13.745	23.008	21.359	24.353	22.313	21.885	22.011	21.304
	6	17.830	20.761	23.492	22.231	23.008	9.263	16.877	19.871	17.830	17.403	17.529	16.822
	7	16.182	19.112	21.844	20.583	21.359	16.877	7.614	18.222	16.182	15.754	15.881	15.174
	8	19.175	22.106	24.838	23.576	24.353	19.871	18.222	10.608	19.175	18.748	18.874	18.167
	9	17.135	20.065	22.797	21.536	22.313	17.830	16.182	19.175	8.568	16.707	16.834	16.127
	10	16.707	19.638	22.370	21.108	21.885	17.403	15.754	18.748	16.707	8.140	16.406	15.699
	11	16.834	19.764	22.496	21.235	22.011	17.529	15.881	18.874	16.834	16.406	8.266	15.826
	12	16.127	19.057	21.789	20.528	21.304	16.822	15.174	18.167	16.127	15.699	15.826	7.559

1. Bambu; 2. Bananeira; 3. Cama de Frango; 4. Casca de Arroz; 5. Casca de Arroz*; 6. Casca de Eucalipto; 7. Farelo de Milho; 8. Fava de Feijão; 9. Folha de Bambu; 10. Pó de Serragem; 11. Resíduo Bovino; 12. Soja

Fonte: Os autores, 2022.

Com base nos resultados obtidos para poder calorífico superior, pode-se afirmar que é possível a integração dos materiais lignocelulósicos, mas, obtém-se os valores mais expressivos para a integração de amostras de casca de arroz, bananeira e fava de feijão. Ressalta-se que estes materiais podem ser valorizados, isto é, utilizados para gerar bioprodutos com potencial em uso em diversas áreas. Pesquisas mais aprofundadas são necessárias para avaliar se estes produtos podem ser beneficiados e, em sequência, pirolisados para se obter o máximo de “valorização” do resíduo, reduzindo, assim, os problemas ambientais relacionados à disposição final e, concomitantemente, agregando valor aos produtos.

Considerações finais

Quando analisados os resultados experimentais pode-se concluir que foi possível a realização das análises com uma boa reprodutibilidade das técnicas, o que proporcionou dados confiáveis e passíveis de discussão.

Do ponto de vista do objetivo principal do trabalho, pode-se concluir que a metodologia aplicada possibilitou atingir o objetivo central do trabalho. Ressalta-se que, como supracitado, o potencial do uso dos resíduos é elevado; no entanto, foi observado que alguns dos resíduos não são interessantes do ponto de vista da cogeração de energia, mas tem potencial para valorização, isto é, geração de novos materiais.

Com base neste panorama, conclui-se este trabalho reforçando que os objetivos foram atingidos e destacando a importância do aproveitamento dos resíduos oriundos da agricultura que, atualmente, são descartados sem qualquer tratamento e/ou beneficiamento.

Referências

- AMADO, M., Bastos, D., Gaspar, D., Matos, S., Vieira, S., Bordado, J. M., & Galhano dos Santos, R. (2021). Thermochemical liquefaction of pinewood shaves – Evaluating the performance of cleaner and sustainable alternative solvents. **Journal of Cleaner Production**, 304, 127088.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633/84. Carvão vegetal - **Determinação do poder calorífico**. São Paulo, 1984.
- AÇMA, H. H. **Combustion characteristics of different biomass materials**. Energy Conversion e Management. Istambul: pergamon, v. 44, p. 155-162, 2003.
- AGARWAL, U. P. Raman imaging to investigate ultrastructure and composition of the plant cell walls: distribution of lignina and celulose in black spruce wood (Picea Mariana). **Planta**, v.224, n.5, p.1141-1153. 2006.
- ALVIRA, P. *et al.* Pretreatment technologies for an efficient beioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: **A review**. **Bioresource Technology**, v.101, n.13, p.4851-4861. 2010.

ARANTES, T. M. (2009). **Uso de soluções hidrotópicas na deslignificação do bagaço de cana de açúcar**. 145p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

ASTM, 1991. Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. **Standart Test Methods for Moisture in the Analysis Samples of Coal and Coke**. ASTM, D 3173-87, Philadelphia, PA, p. 324-325.

ASTM, 1991. Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. **Standart Test Methods for Ash in the Analysis Samples and Coke from Coal**. ASTM, D 3174-89, Philadelphia, PA, p. 326-328.

ASTM, 1991. Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. **Standart Test Methods for Volatile Matter in the Analysis Samples of Coal and Coke**. ASTM, D 3175-89a, Philadelphia, PA, p. 329-331.

Balanco de Energia Nacional- BEN. **Oferta Interna de Energia**. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf . Acesso em: 4 mar. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: MMA, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/política-de-resíduos-sólidos>. Acesso em: 18 jul. 2020.

BRISTOTI, ANILDO & SILVA, JAIRO L. dos S. **Diagnóstico da utilização e da oferta da biomassa vegetal no Rio Grande do Sul**. Núcleo de Energia, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 1993.

CANILHA, L. *et al.* Sacarificação da Biomassa Lignocelulosica através de pré hidrólise ácida seguida por hidrólise enzimática: uma estratégia de “desconstrução” da fibra vegetal. **Revista Analytica**, n.44. 2010.

DINIZ, J.; CARDOSO, A. de L.; STAHL, J. A.; VILLETTI, M. A.; MARTINS, A. F. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêsego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**, UFSM, 26 (2): 25 - 32, 2004.

FONSECA, A. D. **Biomass-to-liquids: uma contribuição ao estudo da obtenção de biocombustíveis sintéticos através da síntese Fischer-Tropsch**. Dissertação (mestrado) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo São Paulo, 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201501_2.shtm. Acesso em: 4 mar. 2015.

JOHANSSON, T. B. *et al.* **Renewable energy: sources for fuels and electricity**, Island Press, Washington, DC, 1993.

JUNQUEIRA, K. G.; GAMA, J. R.; MENDES, J. M.; GHESTI, G. F. **Análise das Biomassas: Cama de Aviário e Esterco Suíno para Gaseificação**. III Forum Brasileiro de Energia - Foz do Iguaçu – junho/2012.

- KLASS, D. L. **Biomass for renewable energy, fuels and chemicals**. San Diego: Academic Press, 651p, 1998.
- LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C. **Gaseificação**. CORTEZ, Luis Augusto Barbosa (Org). In:_____. Biomassa Para Energia. Campinas-SP: Editora Unicamp, 2008. p. 241-327.
- MAIA, B. G. de O. **Valorização de Resíduos da Bananicultura e da Rizicultura na Produção de Briquetes**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) Engenharia de Processos na Universidade da Região de Joinville, Joinville, SC, 2013.
- MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; ROMERO-GÜIZA M.S.; FONOLL, X.; PECES, M; ASTALS, S.. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 36, p.412-427. 2014.
- MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais**. Curso sobre tratamento de Resíduos Agroindustriais, Fundação Estadual do Meio Ambiente. Viçosa: 2005.
- Ministério do Meio Ambiente. <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>. Acesso em: 21 nov. 2013.
- MORALES, M. M. **Avaliação dos Resíduos Sólidos e Líquidos num Sistema de Abate de Bovinos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – *Campus* de Botucatu, Botucatu, SP, 2006.
- MOSIER, N. *et al.* Features of promising Technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Beioresource Technology**, v. 96, n. 6, p.673-686. 2005.
- NACEUR, M. B., BLAYO A., Gandini, A.. Organosolv lignin a filler in inks, varnishes and paints”. **Industrial Crops and Products** 18, pp. 145-153, 2004.
- NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. (2008). **Caracterização Energética da Biomassa Vegetal**. BARRETO, Eduardo José Fagundes (Coord). Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 52-63.
- NOGUEIRA, M. F. M. **Biomassa Energética: Caracterização da Biomassa**. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis – SC 2007.
- NOGUEIRA, L. A.; LORA, H. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações**, 2 ed, 2003.
- NONHEBEL, S. Energy from agricultural residues and consequences for land requirements for food production. **Agricultural Systems**. Holanda: Elsevier, v. 94, p. 586–592, 2007.

- PARPARIJA E, BREBU M, UDDIN M A, YANIK J, VASILE C. Pyrolysis behaviors of various biomasses. **Polymer Degradation and Stability**. Vol 100, p 1-9, 2014.
- PAULA, L. E. de R. e. **Produção e Avaliação de Briquetes de Resíduos Lignocelulósicos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.
- PORBSTEIN, R.F.; HICKS, R.E. **Synthetic fuels**. New York: McGraw Hill Book Company, 490p., 1982.
- QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. do; ANDRADE, A. P. A. de; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. dos S. Poder Calorífico da Madeira e de Materiais Lignocelulósicos. **Revista da Madeira** nº 89, p 100-106, 2005.
- PATIL, P. D.; DENG, S. Optimization of biodiesel production from edible and non-edible vegetable oils. **Fuel**, v. 88, p. 1302–1306, 2009.
- SAITER, O. **Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de Coffea canephora var. Conilon**. 2008. Monografia (trabalho de conclusão do curso de Engenharia Florestal) Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro:2008.
- SELEGHIM JR, P.; POLOKARPOV, I. Desafios para transformar conceitos em realidade. **Scientific American Brasil**, n. 87, p.32-37. 2009.
- SOUZA, J. E. A. de. **Avaliação das diversas fontes e tipos de biomassa do estado de Alagoas: estudo de suas características físico-químicas e de seu potencial energético**. 2011. 180f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Química e biotecnologia, Instituto de Química e Biotecnologia. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2011.
- STICKLEN, M. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. **Nature reviews genetics**. V.9, p.433-443. 2008.
- SUN, Y; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource Technology**, v. 83. N.1, p.1-11. 2002.
- TURLEY, D.B. **The Chemical Value of Biomass**. In: CLARK, J. H.; DESWARTE, F.E.I. (Ed.) Introduction to Chemicals from Biomass. John Wiley & Sons, 2008. Cap. 2, p. 21-76.
- YADVIKA, S.; SREEKRISHNAN, T.R.; KOHLI, S.; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. **Bioresource Technology**, Vol. 95, p.1-10. 2004.
- WEREKO-BROBBY, Charles Y.; HAGEN, Essel B. **Biomass conversion and technology**. UNESCO energy engineering series. England: John Wiley & Sons Ltd., 1996. 203 p.

WERTHER, J.; SAENGER, M.; HARTGE, E.-U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 26, n. 1, p. 1–27, 2000.

CALCINAÇÃO COM BIOMASSA: UMA ANÁLISE ENERGÉTICA EM FORNOS VERTICAIS NO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS

Ricardo Carrasco Carpio

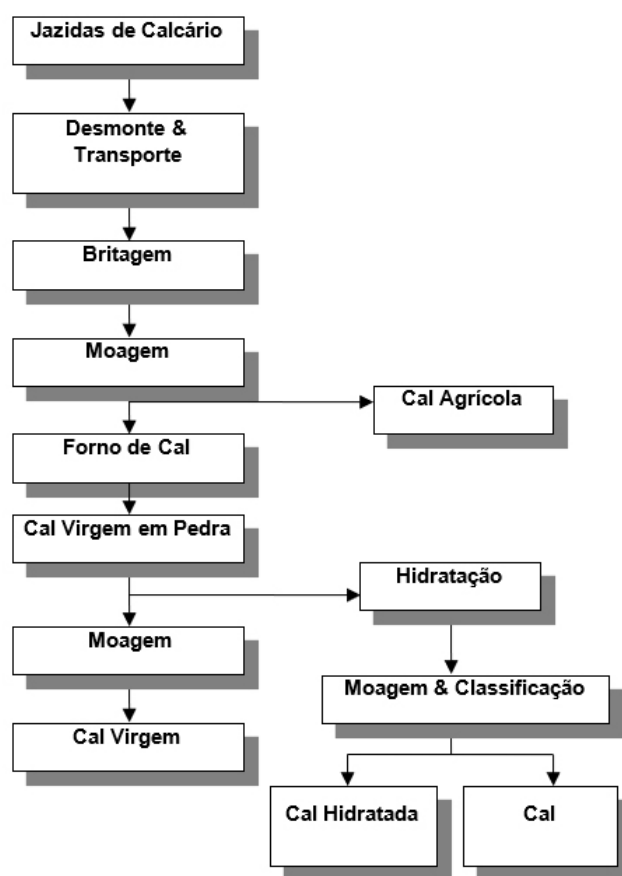
Apresentação

Antes mesmo da invenção dos fornos verticais e rotativos, tão utilizados hoje durante o processo de produção da cal virgem, já era possível encontrar esse item para comercialização, pois os fornos eram, então, grandes perfurações feitas no solo. O avanço fez com que a produção passasse de dezenas de toneladas fabricadas em semanas, para centenas de toneladas fabricadas em apenas um dia utilizando apenas um forno. O tempo de produção foi diminuindo cada vez mais e, ano após ano, foram estudadas maneiras de aperfeiçoar o processo. A rentabilidade aumentou progressivamente com a descoberta de combustíveis cada vez mais baratos, até chegar à biomassa, fonte de pesquisa e utilização em diversas indústrias atuais. Dessa forma, insumos que antes eram depositados na natureza tornaram-se fonte de energia. Mas, como nem tudo que é mais barato é o mais benéfico, esse combustível pode trazer para a produção pontos negativos, como seu baixo poder calorífico, comprometendo a qualidade do produto e a economia esperada. O presente capítulo apresenta uma visão da indústria de Cal que utiliza eucalipto como combustível, assim como uma análise energética em fornos tipo AZBE na região Centro Oeste de Minas Gerais.

Introdução

O processo da fabricação da cal é um processo industrial que demanda grande quantidade de energia nos fornos tipo AZBE para converter o calcário em cal (Fig.1). A indústria de cal na região Centro-Oeste de Minas Gerais é caracterizada como uma atividade industrial desenvolvida por pequenos, médios e grandes produtores, que fazem da combinação do calcário (CaCO_3) e lenha (eucalipto) um produto nobre com alto valor agregado denominada cal virgem (CaO), de vasta aplicação industrial.

Figura 1 – Processo da fabricação da cal

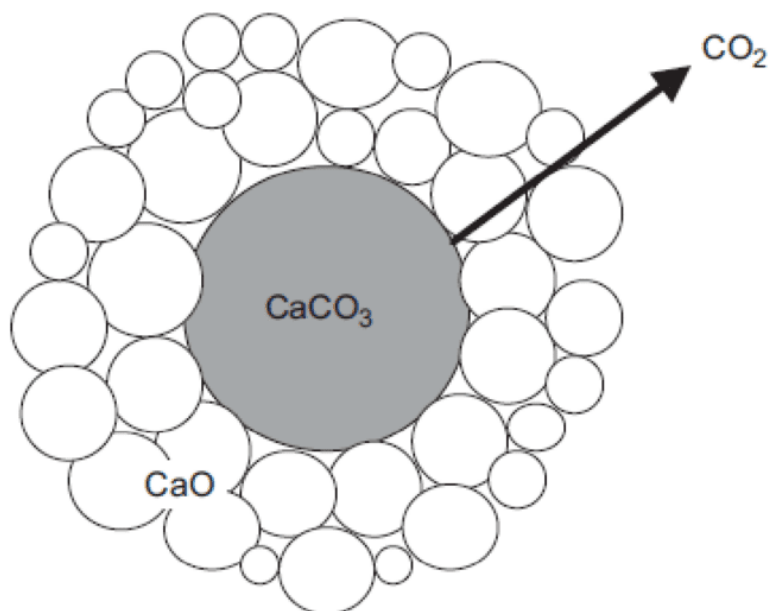


Fonte: Autor, 2022.

A matéria-prima utilizada na produção de cal é, basicamente, rocha calcária (Bajay & Sant'ana, 2010). A conversão de carbonato de cálcio, CaCO_3 , presente no calcário, em óxido de cálcio (CaO) ocorre através da liberação de dióxido de carbono (CO_2), que se dá quando o minério é submetido à alta temperatura. Quando a superfície da rocha atinge a temperatura de calcinação, o processo de dissociação se inicia a partir da superfície até o centro da rocha, completando o

processo de calcinação (Ochoa *et al.*, 2010). A camada externa de CaO, formada durante o processo de dissociação, apresenta alta porosidade (Bluhm-Drenhaus *et al.*, 2010), como apresentado abaixo.

Figura 2 – Modelo simplificado de dissociação do núcleo de carbonato de cálcio



Fonte: Bluhm-Drenhaus, 2010

A temperatura de dissociação depende de fatores como origem e composição do calcário, estrutura do cristal, tamanho de grão e pressão parcial de CO_2 na atmosfera circundante (Boynton, 1980). Se a pressão parcial de CO_2 na atmosfera circundante ultrapassar a pressão de equilíbrio, a reação inversa da decomposição ocorre, e, eventualmente, a cal se transforma completamente em carbonato; por isso não se encontra cal virgem ou apagada na natureza (Segmar, 2008).

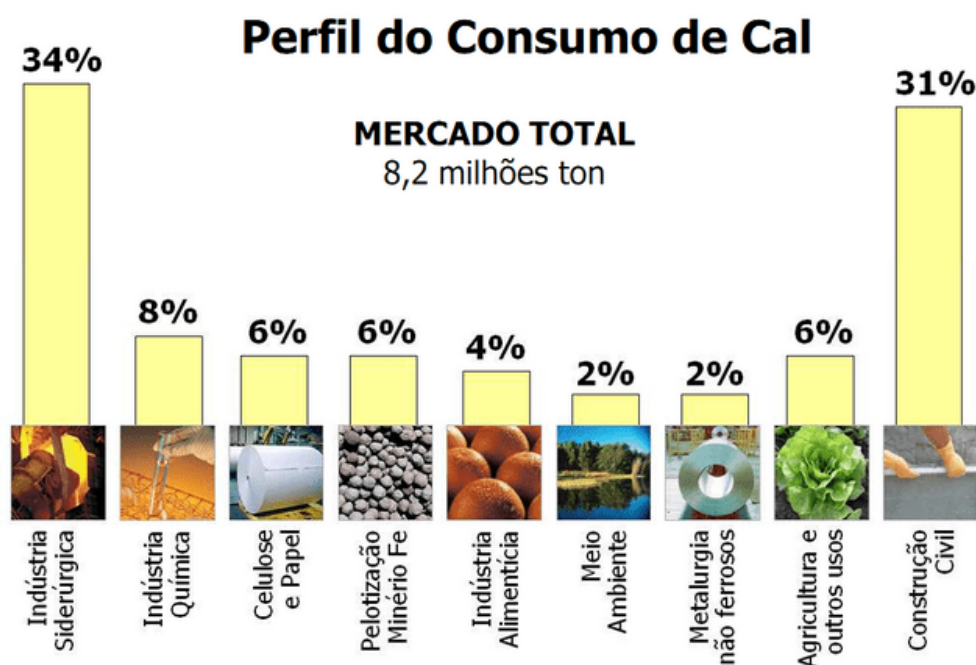
A calcinação é fortemente variante no tempo com diferentes calcários, sendo a taxa de calcinação significativamente afetada por impurezas naturais na pedra, diferenças na cristalinidade, o diâmetro ideal da rocha, variações de densidade e imperfeições na estrutura do cristal (Krukowski, 2006).

Na região Centro-Oeste de Minas Gerais, a indústria da cal é uma das principais atividades econômicas, sendo que, em alguns municípios, é a principal fonte de emprego e de renda da população devido à presença de grandes jazidas de rochas calcárias, provavelmente uma das maiores de Minas Gerais.

O principal país produtor de cal é a China, com 69% da produção mundial. Com produção bem menor, mas entre os maiores produtores, estão Estados Unidos, Índia, Rússia e Brasil, somando cerca de 20%. Em 2015, a produção do Brasil foi de aproximadamente 8,3 milhões de toneladas, colocando-o na quinta posição no ranking mundial de produtores segundo a United States Geological Survey (USGS, 2016).

A cal e seus derivados, assim como suas combinações, são produtos que encontram uma vasta aplicação atualmente (Fig. 4). Pela sua diversidade de aplicações, a cal está entre os dez produtos de origem mineral de maior consumo no planeta (Bajay & Sant'ana, 2010).

Figura 4 – Usos da Cal



Fonte: ABPC, 2012.

Atualmente, o processo produtivo na maioria das empresas de cal na região é empírico, com baixa eficiência e com enormes perdas, pois o processo envolve a queima de calcário com lenha nativa ou derivados de petróleo, o que coloca essa indústria como uma das vilãs da devastação no Estado. Para se produzir, por exemplo, 1,0 tonelada de cal, utiliza-se 2 m³ de lenha, o que equivale a aproximadamente 20 árvores bracatinga (Unilivre, 2004). Já na região Centro-Oeste de Minas Gerais, o consumo de lenha nos denominados “fornos de barranco” varia de 1,3 m³ a 1,5 m³ por tonelada de cal produzida.

Esse aumento no consumo energético faz com que os produtores de cal da região Centro-Oeste de Minas Gerais enfrentem, atualmente, dificuldades como:

1. Baixa eficiência dos fornos verticais tipo AZBE (Figura 5A) e enormes perdas de energia térmica durante o processo de calcinação do calcário (Figura 5B), levando a uma alteração nas metas de produção da Cal.

Figura 5A – Forno vertical tipo AZBE



Fonte: Autor, 2022.

Figura 5B – Entrada da biomassa no Gaseificador (chamado de Gasogênio na indústria de Cal).

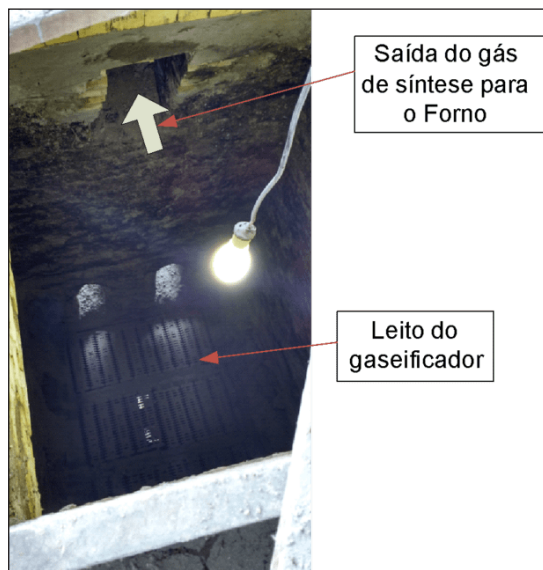


Fonte: Autor, 2022.

2. Falta de conhecimento das características físico-químicas do combustível e dos principais parâmetros de controle durante o processo de combustão, o que conduz a um aumento no consumo de combustível e, muitas vezes, a perdas da produção de cal, devido às instabilidades da temperatura dentro do forno e no gaseificador. Abaixo se encontram demonstrados o leito do gaseificador (chamado também de Gasogênio) em que se produz o gás de síntese (Fig. 6A) e o queimador do gás (Fig. 6B), também chamado de pirulito em virtude de seu formato geométrico. Esse tem como função a queima do gás de síntese produzido no gaseificador.

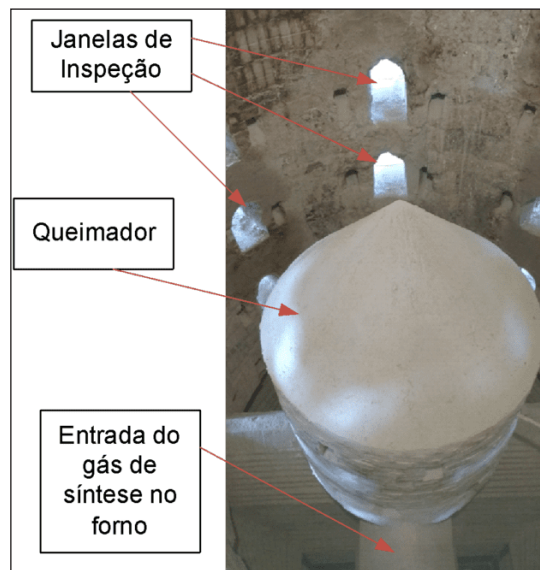
Figura 6A – Leito do Gaseificador (Gasogênio),

Figura 6A – Leito do Gaseificador (Gasogênio), onde se produz o gás de síntese



Fonte: Autor, 2022.

Figura 6B – Queimador do gás de síntese, no forno vertical.



Fonte: Autor, 2022.

3. Calcário parcialmente calcinado, cujo aspecto é semelhante ao apresentado na (Figura 7). Produto da instabilidade térmica.

4. Controle ineficiente das emissões gasosas (produto da combustão) que é uma das razões pela qual a legislação não permite a queima de outro tipo de combustível alternativo. Cabe mencionar que estas emissões gasosas levam conjuntamente material particulado que afeta seriamente a saúde pública e o bem-estar da população das cidades vizinhas.

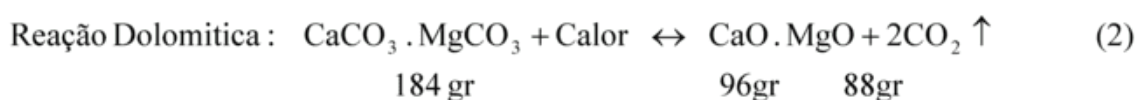
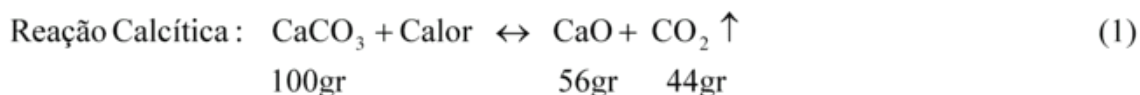
5. Altas temperaturas dos gases de saída, queimando muitas vezes o sistema de limpeza dos gases, como os filtros de mangas, elemento importante para o controle do material particulado.

Figura 7 – Pedra calcária parcialmente calcinada

Fonte: Autor, 2022

Teoria de calcinação

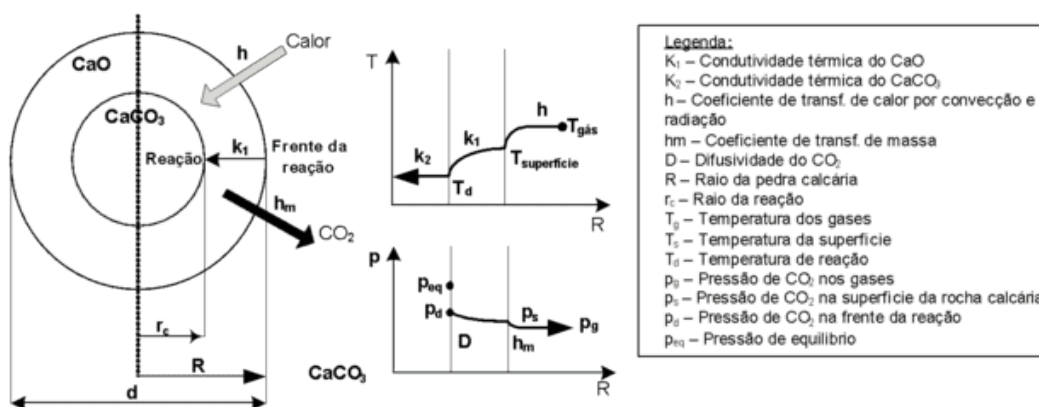
A produção da cal virgem ou cal viva (CaO) é um processo industrial relativamente simples, que envolve a dissociação de calcários e/ou mármore de composição cálcica (CaCO_3) ou dolomítica ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), através do calor, para formar cal de composição correspondente como mostra a Equação 1 e 2 (Oates, 1998).



O processo de dissociação do carbonato de cálcio é uma reação altamente endotérmica, sendo o consumo de calor de aproximadamente 1.452 Kcal/kg_{CaO} (Oates, 1998).

A reação começa na superfície exterior da rocha calcária e avança radialmente em direção ao centro, com uma interface cal-calcário perfeitamente definida (frente de reação), como se apresenta abaixo (Figura 8).

Figura 8 – Modelo de dissociação de uma esfera de calcário



Fonte: Bes, 2006 *apud* Sagastume, 2015.

A partir do que se pode observar, é possível descrever a dissociação do CaCO_3 . Primeiramente, ocorre a transferência de calor por radiação e convecção (h), da massa dos gases quentes para a superfície da rocha, formada por uma capa de óxido de cálcio (CaO) que rodeia o núcleo sem calcinar (CaCO_3) ($T_{\text{gas}} > T_{\text{superfície}}$).

Seguidamente, o calor é transmitido por condução (k_1) desde a superfície, através da capa porosa de óxido de cálcio (CaO) até a interfase Cal-Calcário onde a temperatura de reação é T_d . Durante a dissociação, a entalpia de reação é maior que a energia interna e o fluxo de calor que chega ao núcleo por condução é pequeno, então a temperatura do núcleo é ligeiramente menor à temperatura da frente da reação.

Mediante o subministro de calor à frente da reação, tem lugar a dissociação do CaCO_3 (reação química), sendo necessária a existência de um diferencial entre a pressão de equilíbrio (P_{eq}) e a pressão do CO_2 na frente da reação ($P_{eq} - P_d$), pois é esta a força motriz da reação química. O CO_2 liberado passa através das capas porosas do óxido de cálcio (CaO) por difusão, chegando até a superfície da pedra, por convecção a massa dos gases (Sagastume, 2015).

Cálculo de vazão de gases no forno

Para o processo de fabricação da cal, é necessário o controle da vazão de alguns gases para que o processo de combustão ocorra de forma adequada e para que as normas ambientais para emissão de gases sejam atendidas. Logo nesta etapa, foi elaborado um memorial de cálculos da vazão dos gases da combustão do forno tipo AZBE, em que o forno é alimentado por eucalipto. Uma vez elaborado o memorial de cálculo, foi desenvolvido um código utilizando o *software* MATLAB para realizar os cálculos de vazão de gases automaticamente, não sendo necessários cálculos manuais, de forma rápida e com erros mínimos, sendo os mesmos validados para sistemas semelhantes apresentados por (Bes, 2017).

A Figura 9 demonstra a entrada de dados e a Figura 10 mostra a vazão dos gases esperados para as entradas fornecidas, onde o CO_2 é apresentado duas vezes, uma vez que um se trata do emitido pelo combustível e outro pela matéria-prima.

Figura 9 – Tela de dados para cálculo da vazão dos gases.

Vazao_inicial

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MINAS GERAIS
Campus Formiga

Produção de Cal : 139.36 T/d

Consumo Específico de Energia (CEE)

Mínimo: 3263.52 KJ/Kg

Máxima: 3765.6 KJ/Kg

% de O2 Livre: 7 %

Temperatura Ambiente: 25 °C

Lista de Combustível

-Eucalipto

Combustível

Combustível: Eucalipto

Carbono (C): 49.95 %

Hidrogênio (H): 5.96 %

Enxofre (S): 0.07 %

Oxigênio (O): 43.01 %

Nitrogênio (N): 0.53 %

PCI: 3977 KJ/Kg

% de Comb.: 100 %

Limpar Combustíveis Adiciona Combustível

Calcular Vazão de Gases Voltar

Fonte: Autor, 2022.

Figura 10 – Vazão de gases resultante

Vazao_resultado

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MINAS GERAIS
Campus Formiga

Gases Resultantes da reação Considerando O2 Livre

CO2 (Comb) 0.059333 Kmol/s

H2O 0.0849544 Kmol/s

SO2 3.11808e-05 Kmol/s

N2 0.463166 Kmol/s

O2 0.0407697 Kmol/s

CO2 (MP) 0.0155394 Kmol/s

Vazão dos Gases da Combustão (Vgc)

Vgc = 16.2325 Nm³/s (base úmida)

Vgc = 14.1542 Nm³/s (base seca)

Voltar

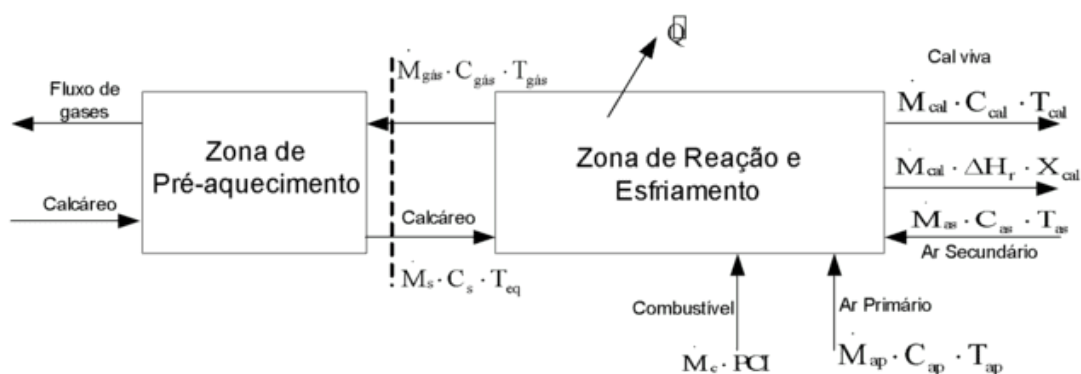
Fonte: Autor, 2022.

Cálculo do balanço de massa e energia

De acordo com Do Hai (2012), ao se reproduzir um balanço de energia na produção da pedra calcária, chega-se ao diagrama mostrado na Figura 11, em que se pode notar a visão macroscópica do processo que se dá ao forno. Existem diversos de parâmetros de funcionamento do forno que devem ser estudados, tanto para tentar otimizar o processo de produção quanto para identificar em qual parte do processo pode ou podem apresentar um mal rendimento, são eles (Gutiérrez, 2012):

- Fluxo de alimentação do combustível.
- Fluxo de alimentação da pedra calcárea.
- Fluxo de extração da Cal virgem
- Temperatura dos gases em diversos pontos do forno
- Coeficiente de excesso de Ar,
- Porcentagem de óxido de cálcio ou óxido de magnésio presente na cal virgem.
- Diâmetro da pedra calcária.
- Porosidade da pedra calcária.
- Massa de ar de resfriamento.

Figura 11 – Balanço de energia no forno



Fonte: Do Hai, 2012

É possível determinar a Equação 3, a partir das etapas descritas na Figura 13, pois o balanço de energia do processo deve obedecer aos princípios da termodinâmica. Através desta equação é possível realizar o balanço de massa do processo.

$$\dot{M}_c \cdot PCI + \dot{M}_{ap} \cdot C_{ap} \cdot T_{ap} + \dot{M}_{as} \cdot C_{as} \cdot T_{as} + \dot{M}_s \cdot C_s \cdot T_s = \dot{M}_{cal} \cdot C_{cal} \cdot T_{cal} + \dot{M}_{cal} \cdot \Delta H_{cal} \cdot X_{cal} + \dot{M}_{gás} \cdot C_{gás} \cdot T_{gás} + \dot{Q} \quad (3)$$

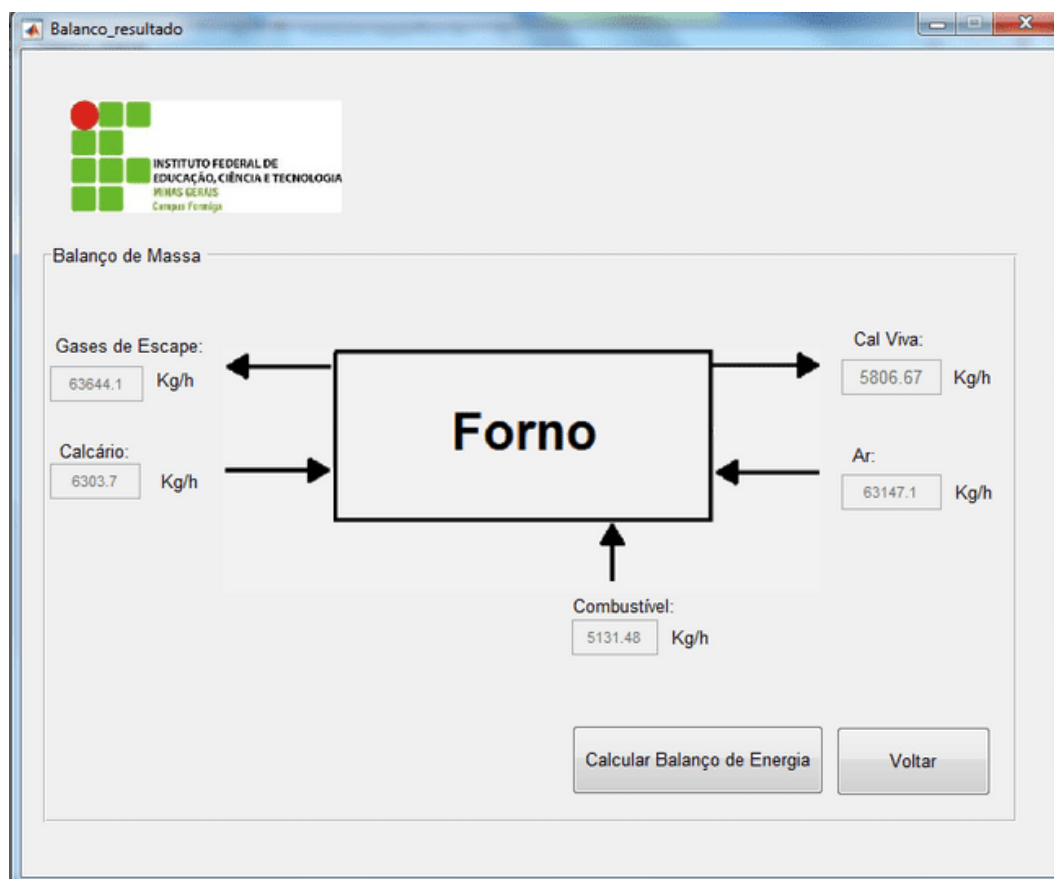
A fim de aperfeiçoar o cálculo de balanço de massa do processo de calcinação, sugere-se o uso de um código com uma interface gráfica (assim como para o cálculo de vazão de gases), que recebe dados como o tipo do combustível utilizado e suas propriedades, produção diária da cal viva e consumo específico do forno. A Figura 12 mostra como é a tela de preenchimento dos dados, com os campos ocupados por valores fornecidos pela empresa parceira. Abaixo (Figura 13) são demonstrados os resultados do cálculo em que a vazão mássica dos componentes do processo é dada em quilogramas por hora, e as setas indicam a direção de cada fluxo de massa.

Figura 12 – Tela para inserção de dados para o balanço de massa.

The screenshot shows a software window titled "balanco_massa" with a logo of the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais. The interface is divided into several sections:

- Produção de Cal:** A text box containing "139.36" and a unit label "T/d".
- Consumo Específico de Energia (CEE):** A section with two rows: "Mínimo:" with value "3263.52" and unit "KJ/Kg", and "Máxima:" with value "3765.6" and unit "KJ/Kg".
- Grau de conversão da rocha:** A text box with "0.56".
- Coefficiente de excesso de ar:** A text box with "1.9".
- % de CaCo3:** A text box with "32" and a unit label "%".
- Lista de Combustível:** A list box containing "-Eucalipto".
- Combustível:** A section with a dropdown menu set to "Eucalipto" and several input fields:
 - Combustível: Eucalipto
 - Carbono (C): 49.95 %
 - Hidrogênio (H): 5.96 %
 - Enxofre (S): 0.07 %
 - Oxigênio (O2): 43.01 %
 - PCI: 3977 KJ/Kg
 - % de Comb.: 100 %
- Buttons:** "Limpar Combustíveis", "Adiciona Combustível", "Calcular Balanço de massa", and "Voltar".

Figura 13 – Balanço de massa resultante



Fonte: Autor, 2022

Além do cálculo de balanço de massa, é necessário conhecer o balanço de energia no processo de calcinação. Dessa forma, é possível analisar possíveis perdas ou excessos indesejáveis. A Figura 14 apresenta os dados de entrada fornecidos pela empresa parceira. O resultado do balanço de energia é mostrado na Figura 15 onde, vale destacar, há uma seta a mais do que no cálculo de balanço de massa, indicando as perdas de calor na(s) parede(s) do forno. Como é de costume na engenharia, perdas representam parcelas indesejáveis do processo, pois simbolizam parte da energia que não é utilizada no processo.

Figura 14 – Tela para inserção de dados para cálculo do balanço de energia.

The screenshot shows a software window titled 'Balanco_energia'. It features the logo of the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais, Campus Formiga. The interface is divided into two main sections: 'Temperaturas' and 'Dados Gerais'.

Temperaturas:

- Calcário: 25 °C
- Ar ambiente: 25 °C
- Gás de escape: 190 °C
- Cal Viva: 80 °C

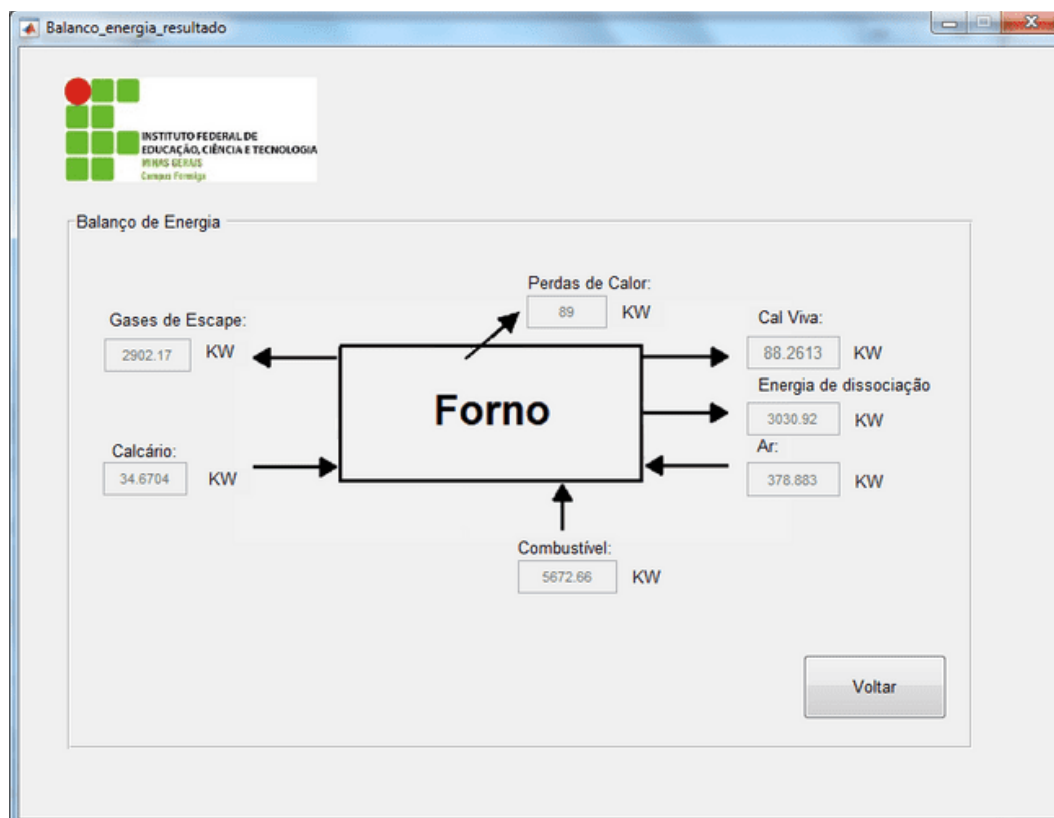
Dados Gerais:

- Energia de reação: 3.18 KJ/Kg
- Perdas de Calor: 89 KW

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular Balanço de Energia' and 'Voltar'.

Fonte: Autor,2022

Figura 15 – Balanço de energia resultante



Fonte: Autor, 2022

Conclusões

O forno AZBE, quando comparado aos fornos contemporâneos, apresenta um notável atraso na produção. Principalmente entre as empresas menores do centro-oeste de Minas Gerais, o uso de tecnologias antiquadas tem aumentado a preocupação não apenas em termos de produtividade, mas também em relação à pegada ambiental. A dependência excessiva de lenha como fonte de combustível, juntamente com a falta de mecanismos de eficiência energética, ressalta um padrão insustentável que é ecologicamente prejudicial e economicamente ineficiente. Para combater essas ineficiências, a modelagem dinâmica se destaca como uma solução potencial, permitindo um processo de produção refinado e aprimorado para esses fornos.

O *design* inerente dos fornos AZBE complica o controle operacional eficaz, tornando-os suscetíveis a ineficiências e qualidade inconsistente do produto. No entanto, os avanços tecnológicos modernos oferecem uma saída: A integração de dispositivos de monitoramento pode revolucionar a operação do forno, fornecendo *feedback* em tempo real aos operadores. Essas intervenções dinâmicas capacitam os operadores a ajustarem o processo, garantindo não apenas taxas de produção aprimoradas, mas também uma qualidade consistentemente superior do produto acabado.

A introdução de *firmware* sob medida para fornos verticais pode inaugurar uma nova era de eficiência operacional. Ao simular processos intrincados como fluxo de gás, bem como balanços de massa e energia, essas ferramentas podem prever o comportamento do forno sob condições variadas, sejam elas mudanças no tipo de combustível ou mudanças nas metodologias de produção. Tais recursos preditivos são inestimáveis. Eles permitem que as empresas criem estratégias e planejem antes de implementar mudanças físicas, minimizando assim os riscos e garantindo que a produção permaneça eficiente e de alta qualidade. Em uma indústria onde até mesmo pequenas alterações podem ter ramificações significativas, ter uma abordagem baseada em simulação pode ser a chave para o sucesso sustentado.

Referências

- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 18 jul. 2019.
- ABPC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL. **O setor da cal no Brasil**. Disponível em: <http://www.abpc.org.br/frame.htm>. Acesso em: 22 maio 2014.
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2020 (PERSU 2020+)**. Lisboa: APA, 2014. Disponível em: <https://issuu.com/agenciaportuguesadoambiente/docs/persu2020>. Acesso em: 18 jul. 2019.
- BAJAY, S. V.; SANT'ANA, P. H. de M. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial cal e gesso**. Brasília: CNI, 2010.
- BES, A. **Dynamic process simulation of limestone calcinations in normal shaft kilns**. 2006. Doctoral Thesis – Otto-von-Guericke University, Magdeburg. Disponível em: <http://diglib.uni-magdeburg.de/Dissertationen/2006/agnbes.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2017.
- BLUHM-DRENHAUS, T.; SIMSEK, E.; WIRTZ, S.; SCHERER, V. A coupled fluid dynamic-discrete element simulation of heat and mass transfer in a lime shaft kiln. **Chemical Engineering Science**, v. 65, n. 9, p. 2821–2834, 2010.
- BOYNTON, R. S. **Chemistry and technology of lime and limestone**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1980.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: MMA, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/politica-de-residuos-solidos>. Acesso em: 18 jul. 2019.
- DO, HAI D. **Simulation of lime calcination in normal shaft and parallel flow regenerative kilns**. 2012. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/51448315.pdf>. Acesso em: 7 set. 2017.
- FIKSEL, J.; LOW, J. M.; SUTER, G. W. Sustainability and resilience: Toward a systems approach. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 13, p. 5330–5340, 2011.
- GUTIÉRREZ, A. S. *et al.* **Evaluation of the environmental performance of lime production in Cuba**. **Journal of Cleaner Production**, v. 31, p. 126–136, ago. 2012.
- JARDIM, A.; YOSHIDA, C. Y. M.; VALVERDE, J. V. Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. 1. ed. São Paulo: PUC-SP, Manole, 2012.
- KRUKOWSKI, S. T. Lime. In: **Industrial Minerals and Rocks**. 7. ed. p. 561–580, 2006.

OATES, J. A. **Lime and limestone: chemistry and technology and uses**. Weinheim: Wiley-VCH, 1998.

OCHOA, P. A. G. *et al.* Cleaner production in a small lime factory by means of process control. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 12, p. 1171-1176, abr. 2010.

SAGASTUME, A. G. **Limestone calcination optimization of vertical container oven**. 2015. Disponível em: <https://itegam-jetia.org/artigos/2015/3/2.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2018.

SEGMAR – SERVIÇO GEOLÓGICO MINEIRO ARGENTINO; UNSAM – UNIVERSIDAD NACIONAL DE GENERAL SAN MARTÍN. **Carbonato y sulfato de cálcio**. Publicação técnica, n. 15, 2008.

SOUZA DA SILVA, C. S. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: uma discussão sobre a gestão dos resíduos sólidos no Brasil. 2020. Disponível em: <https://www.academia.edu/43367245>. Acesso em: 18 jul. 2020.

UNILIVRE – UNIVERSIDADE LIVRE DO MEIO AMBIENTE. **Uso da serragem em substituição da lenha nos fornos de produção de cal**. 2004. Disponível em: <http://www.unilivre.org.br/>. Acesso em: 8 jun. 2005.

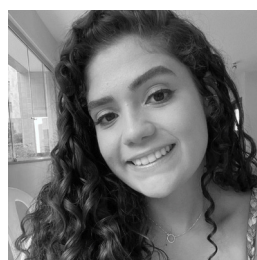
USGS – U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2016**. Virginia, 2016. p. 98-99. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2016/mcs2016.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2017.

SOBRE OS AUTORES



Amábile Amaral Marques

Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, professora e assessora pedagógica da rede municipal de Contagem (MG). Área de interesse: Educação Ambiental.



Ana Luiza de Andrade Almeida

Estudante do curso de Medicina Veterinária do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Bambuí. Áreas de interesse: Medicina Veterinária Preventiva, com foco em vigilância sanitária e controle de enfermidades.



Ariana Cristina Santos Almeida

Doutora em Ciências Naturais, docente do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Ouro Preto. Área de interesse: Pedologia.



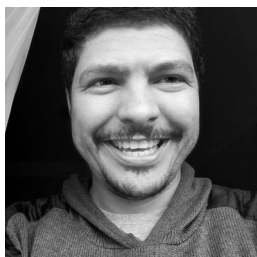
Brenno Santos Leite

Doutor em Engenharia Química, docente da Universidade Federal de Viçosa e do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental no IFMG Bambuí. Tem experiência na área de Química, com ênfase em físico química, atuando na área de processos químicos e informática e no setor de mineração e produção de celulose e papel. Área de interesse: Aproveitamento de resíduos agroindustriais com o objetivo de produção de novos materiais e energia.



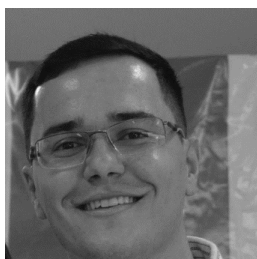
Eva Julieta de Melo

Bióloga, Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental pelo IFMG. Área de interesse: Sustentabilidade.



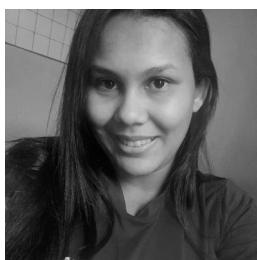
Felipe da Silva Alves

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil pela UFRJ, docente do IFMG. Área de interesse: Construção Civil.



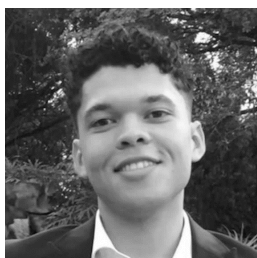
Gabriel Lucas Linhares

Estudante de Engenharia Civil do IFMG *Campus* Avançado Piumhi. Área de interesse: Construção Civil.



Gabriela Lourdes de Sousa

Estudante de Engenharia Civil do IFMG *Campus* Avançado Piumhi. Área de interesse: Construção Civil.



Gean Abner Ferreira de Sousa

Estudante de Engenharia Civil do IFMG *Campus* Avançado Piumhi. Área de interesse: Construção Civil.



Gustavo Pereira Pessoa

Doutor em Educação, docente do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Ibirité. Área de interesse: Educação Ambiental.



Hygor Aristides Victor Rossoni

Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos e Professor Orientador do MPSTA do IFMG. Áreas de interesse: Políticas públicas e gestão de serviços de saneamento; controle ambiental em processos agroindustriais; tecnologias de tratamento de águas de abastecimento e residuárias; e gerenciamento de recursos hídricos e resíduos sólidos.



Jairo Rodrigues Silva

Doutor em Geografia e Professor Orientador do MPSTA do IFMG. Áreas de interesse: Sensoriamento Remoto, geoprocessamento, cartografia, análise da paisagem.



Kaillane Narciso Coelho

Estudante do curso de Medicina Veterinária, do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Bambuí. Áreas de interesse: Medicina Veterinária Preventiva, com foco em Saúde Única.



Luís Valarini Filho

Engenheiro Ambiental. Áreas de interesse: Análise de projetos e obras de saneamento ambiental, com ênfase em resíduos sólidos. Análise de projetos e obras de recuperação de áreas degradadas e avaliação de impactos ambientais, com ênfase em unidades de conservação.



Mariana Gontijo

Bióloga. Áreas de interesse: Gestão de áreas protegidas, unidades de conservação, projetos socioambientais, conservação da biodiversidade, ESG.



Pedro Luiz Teixeira de Camargo

Biólogo e Geógrafo, Doutor em Ciências Naturais pela UFOP, Docente do IFMG. Área de interesse: Sustentabilidade.



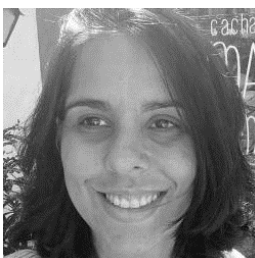
Ricardo Carrasco Carpio

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais IFMG no curso de Engenharia Mecânica. Docente e orientador do programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental. Atua nas linhas de pesquisa Coprocessamento, geração de energia por biomassa, otimização de combustíveis alternativos e análises de sistemas energéticos.



Shirley Soares de Oliveira

Engenheira Civil. Idealizadora do projeto Gota D'água da Secretaria Estadual de Educação de Minas Gerais. Área de interesse: Execução de projetos de infraestrutura, com ênfase em soluções de saneamento básico em ambientes escolares localizados em zonas rurais, aldeias indígenas e quilombolas.



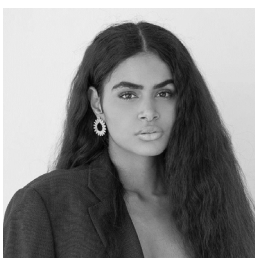
Sibeles Augusta Ferreira Leite

Doutora em Engenharia Química. Área de interesse: Uso sustentável de recursos hídricos e impactos ambientais nos corpos d'água, o adequado gerenciamento de resíduos sólidos e o tratamento e a valorização da biomassa gerada nos processos agropecuários.



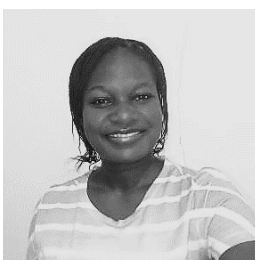
Simone Magela Moreira

Médica Veterinária, Doutora em Ciência Animal – Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais - IFMG no curso de Medicina Veterinária, Zootecnia. Docente e Orientadora do programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental. Linhas de pesquisa: Saúde Ambiental, Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de interesse: Meio Ambiente e Saúde.



Talyta de Freitas Sousa

Engenheira Civil, Mestranda em Engenharia de Transporte da Escola Politécnica da USP. Área de interesse: Construção Civil.



Temitope Fadekemi Ogunjimi

Bacharela e Mestra em Geografia com ênfase em Análise de Recursos pela Universidade de Lagos, Nigéria, onde atuou como Assistente de Graduação e Professor Assistente no Departamento de Geografia. Mestra em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente, é doutoranda no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa.



Thiago Felipe de Matos

Engenheiro Eletricista. Áreas de interesse: Engenheiro de comercialização de energia e análise de soluções energéticas de fontes limpas e renováveis, gestão dos clientes corporativos e de contratos no mercado livre de energia.



Vitória Sônego Lemos dos Santos

Graduada em Engenharia de Alimentos. Área de interesse: Aproveitamento de alimentos e ciências de alimentos.





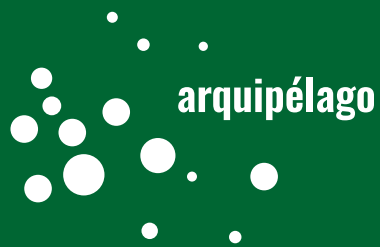
A Coleção Arquipélago reúne trabalhos oriundos dos programas de pós-graduação *stricto sensu* do IFMG, destacando o seu caráter em rede e a diversidade de áreas do conhecimento contempladas pelas pesquisas.

● EDITORA
IFMG

Este livro foi editorado com as fontes: Palatino Linotype, Oswald e SourceSans Pro

Versão digital (e-book), em acesso aberto, disponível em:

<https://www.ifmg.edu.br/portal/pesquisa-e-pos-graduacao/editora-ifmg>



Abordagens Integradas à Gestão Ambiental e Práticas Sustentáveis" é um compêndio de pesquisas e estudos de caso focados na sustentabilidade e gestão de recursos. Fruto de uma colaboração entre membros de diferentes colaboradores do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), incluindo alunos do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, o livro destaca-se pelo equilíbrio entre teoria e prática e se alinha às áreas prioritárias da CAPES. Além da sua contribuição acadêmica, o livro visa inspirar novos estudos, servindo também como recurso para profissionais, ativistas e estudantes, e destaca a importância da interdisciplinaridade e da aplicabilidade da pesquisa no enfrentamento dos desafios ambientais atuais, propondo soluções tangíveis por meio da ciência e tecnologia. É, portanto, um convite à leitura e descoberta para todos aqueles comprometidos com um futuro sustentável.