

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
TÉCNICO EM QUÍMICA**

**CONSTRUÇÃO DE CALDEIRA BASEADO EM UM CALORÍMETRO DE BAIXO
CUSTO PARA QUANTIFICAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO EM RESÍDUOS
DE BIOMASSA, APLICANDO OS PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE**

ORIENTADOR: Prof^ª Dra. GISLAINE AP. BARANA DELBIANCO

COORIENTADOR: Prof^º SÉRGIO DELBIANCO FILHO

**BRUNO FELIPE DA SILVA
GABRIEL FELIPE DIAS DO PRADO
GIOVANA VIU ZENTIL**

LIMEIRA – SP

2021

**BRUNO FELIPE DA SILVA
GABRIEL FELIPE DIAS DO PRADO
GIOVANA VIU ZENTIL**

**CONSTRUÇÃO DE CALDEIRA BASEADO EM UM CALORÍMETRO DE BAIXO
CUSTO PARA QUANTIFICAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO EM RESÍDUOS
DE BIOMASSA, APLICANDO OS PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Banca Examinadora, como exigência a obtenção
de título de Técnico em Química, da escola
Técnica Trajano Camargo, sob a orientação da
Profª Dra. Gislaine Aparecida Barana Delbianco e
coorientação do Prof. Sérgio Delbianco Filho

**LIMEIRA – SP
2021**

Dedicamos este trabalho aos nossos colegas de curso, que assim como nós, encerram uma etapa com muitas dificuldades na vida acadêmica, além de cada professor que nos acompanhou durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaríamos de agradecer a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados, durante todos os nossos anos de estudos, ajudando sempre nas dificuldades.

Aos nossos pais, que sempre nos incentivaram nos momentos difíceis, até quando ficávamos desanimados, e compreenderam a necessidade de apoio que cada um de nós precisou, nos mantendo focados e sempre em frente.

À professora Gislaine Aparecida Barana Delbianco, por ter sido nossa orientadora, desde o primeiro momento, nos apoiando e ajudando com os projetos, sempre com dedicação e amizade. Mesmo durante a pandemia, nos ajudou em todas as nossas dificuldades.

Ao professor Sérgio Delbianco Filho, que como coorientador, sempre esteve conosco, tirando cada dúvida que surgia durante o progresso do TCC, sempre nos ajudando com seu carisma e dedicação.

À instituição de ensino ETEC Trajano Camargo, essencial no nosso processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

“Nada no mundo consegue tomar o lugar da persistência. O talento não consegue; nada é mais comum que homens fracassados com talento. A genialidade não consegue; gênios não recompensados, é quase um provérbio. A educação não consegue; o mundo é cheio de errantes educados. A persistência e determinação sozinhas são onipotentes.”

Calvin Coolidge

RESUMO

O resíduo verde, algumas vezes confundido com lixo orgânico, se trata do material que vem da poda da vegetação, como exemplo, galhos, cascas, folhas de árvores e até mesmo a grama e a flor são considerados resíduos verdes. Devido à grande quantidade deste material ser descartado, tende a lotar rapidamente os aterros sanitários, e quando são refugados em lixões, se tornam abrigo para ratos e animais peçonhentos, como cobras e escorpiões. Com esse problema, o projeto estudou o desenvolvimento de um calorímetro para estudar o potencial que o material tem para o fornecimento de energia. Através dos experimentos realizados, é possível chamar a atenção das pessoas para a conscientização de que o que elas consideram lixo, pode ser usado como energia. Foi construída uma caldeira com um baixo custo de construção para o cálculo do potencial calorífico, onde ocorreu a queima de briquetes artesanais, construídos com materiais de fácil acesso, como papel, bagaço de cana, bagaço de laranja e palha. Com os testes realizados, foi possível quantificar o calor emitido pela biomassa.

Palavras-chave: resíduo verde; caldeira; potencial calorífico; biomassa.

ABSTRACT

The green residue, sometimes mistaken as organic waste, is provided from pruning tree, for example, branches, sticks, tree barks, leaves and even grass and flowers are considered green residue. Due to the large amount of this material that is disposed, it tends to fill up the sanitary landfills quickly as they turn into animal shelters such as rats and venomous animals, like snakes and scorpions. Based upon this premise, the project studied the development of a calorimeter to study the material's potential to supplying power. Through the experiments, it is possible to call people's attention to awareness of what they consider trash to be used as energy. A low price boiler was built for calculating calorific potential, where handmade briquettes, made of easy access materials such as paper, sugarcane bagasse, orange bagasse and straw, were burned out. Through the tests, it was possible to quantify the issued heat from the biomass.

Key-words: green residue; boiler; calorific potential; biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Biomassa Florestal.....	17
Figura 2: Calorímetro de Baixo Custo (modelo)	22
Figura 3: Representação Esquemática do Funcionamento da Usina Térmica a Biomassa.....	23
Figura 4: Fluxograma de Atividades Experimentais	26
Figura 5: Primeiro Mecanismo de Produção de Briquetes.....	28
Figura 6: Segundo Mecanismo de Produção de Briquetes.....	29
Figura 7: Fórmula do Calor Sensível.....	30
Figura 8: Modelo de Caldeira.....	32
Figura 9: Briquete Composto por Bagaços de Cana de Açúcar e Laranja, Papel e Folhas Secas.....	33
Figura 10: Briquete Composto por Mato.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Custo de Implantação de Usinas por MWh.....	24
Tabela 2: Pontos Positivos e Negativos do Modelo de Caldeira e Mecanismo para Produção de Briquetes.....	32
Tabela 3: Diferentes Tipos de Combustíveis e o Calor Sensível Absorvido pela Água.....	34
Tabela 4: Tabela Decrescente Comparando a Quantidade de Calor Absorvido em 1g de Água em Cada Biomassa.....	35

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	11
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos Específicos.....	14
CAPÍTULO 3: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1. Resíduo Verde.....	15
3.2. Biomassa.....	16
3.2.1. Vantagens e Desvantagens da Biomassa como Energia.....	17
3.2.2. Preparação da Biomassa.....	19
3.3. O que é uma Caldeira?.....	19
3.3.1. Modelos de Caldeira.....	20
3.3.1.1. Caldeira de Vapor.....	20
3.3.1.2. Caldeira Flamotubular.....	20
3.3.1.3. Caldeiras Aquatubulares.....	21
3.4. Calorímetro.....	21
3.4.1. Calorímetro de Baixo Custo para Uso Laboratorial.....	22
3.5. Utilização da Termelétrica para Geração de Energia Através da Biomassa.....	22
3.6. Custo de Energia.....	23
3.7. Relações da Biomassa nas Legislações Vigentes.....	24
3.8. Controle da Poluição da Biomassa.....	24
CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1. Construção do Calorímetro.....	26
4.2. Coleta e Preparo de Amostras de Biomassa (Briquetes).....	27
4.2.1. Primeiro Mecanismo para Produção de Briquetes.....	27
4.2.2. Segundo Mecanismo para Produção de Briquetes.....	29
4.3. Aplicação do Material Orgânico como Biomassa.....	30
4.4. Determinação do Potencial Energético.....	30
4.5. Comparação de Resultados.....	31
CAPÍTULO 5: DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	32
5.1. Construção do Modelo de Caldeira e Mecanismo para Produção de Briquetes.....	32
5.2. Coleta e Preparo das Amostras de Biomassa (Briquetes).....	33
5.3. Aplicação do Material Orgânico como Biomassa.....	33

5.4. Determinação do Potencial Energético.....	35
5.5. Comparação de Resultados.....	35
CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Um das grandes preocupações da sociedade moderna é a destinação dos resíduos e o lixo gerado pelas atividades humanas. O destino dado ao lixo é questão de saúde pública e ambiental, assim como de cidadania e respeito ao espaço de todos (SANTOS; ROCHA, 2019).

Segundo a Folha de São Paulo (2018), os brasileiros têm gerado mais resíduos e os municípios têm enviado mais lixo para lixões e aterros, junto ao fato de que a coleta seletiva não tem avançado. Em 2017, foram geradas cerca de 214.868 toneladas de lixo por dia no Brasil, onde 59% dele foi destinado a aterros sanitários, 22% para aterros controlados e 18% para lixões, sendo que 7 milhões de toneladas não foram coletadas adequadamente.

Embora medidas como a ampliação da compostagem como o destino ambientalmente adequado para resíduos orgânicos e a exigência da coleta seletiva de recicláveis, além do fim dos lixões até 2014, que foram determinados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o caminho ainda é árduo (MASTER AMBIENTAL, 2013).

A maioria do resíduo verde vem das próprias cidades, e não das madeiras, já que elas ou queimam os galhos ou os transformam em adubos para outras árvores. Na cidade, a poda de árvores é um problema, pois há vezes em que o lixo é tanto que não possui local para ser disposto. Além disso, segundo Rodrigo Martini, ele gera outros problemas, como a proliferação de mosquitos e animais peçonhentos.

Conforme Meira (2019), a valorização de resíduos é considerada por alguns pesquisadores e algumas indústrias que aderiram e incorporaram programas de produção mais limpa, como uma alternativa econômica, social e ambientalmente adequada.

Segundo Mesquita (2015), o processo de reaproveitamento dos resíduos sólidos, em que os seus componentes são separados, transformados e recuperados, envolve economia de matérias-primas e energia, combate ao desperdício, redução da poluição ambiental e valorização dos resíduos, com mudança de concepção em relação aos mesmos.

Atualmente há uma grande demanda pelos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), produzindo cerca de 80% de toda energia, mas a principal preocupação com o seu uso é a questão ambiental, pois o uso desses combustíveis ataca diretamente o meio ambiente, por isso os países investem nas novas energias renováveis. Segundo o site Biomassa BR, os investimentos voltados para este setor em 2013 totalizaram US\$ 214,4 bilhões.

Uma pesquisa realizada pela Agência Internacional de Energia (IEA) Bioenergy Task 40 (2016), departamento especializado em Bioenergia, aponta que o Brasil é o país que mais utiliza biomassa na produção de energia, correspondendo a 16% do uso mundial. O estudo conclui ainda que a utilização da biomassa para fins energéticos está em crescimento no mundo e que

grandes instalações estão em construção para suprir tanto o mercado de biocombustíveis como de transformação de biomassa em energia e calor.

A face ao crescimento acentuado do consumo de energia no Brasil nos últimos anos, e as previsões para os próximos anos, segundo estudos do Ministério de Minas e Energia por meio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), torna-se cada vez mais necessária a busca por fontes alternativas de geração de energia elétrica. Desde a década de 1970 a preocupação com o efeito estufa, a escassez dos combustíveis fósseis e a importância de se tornar as fontes renováveis como matriz energética tem levantado discussões sobre desenvolvimento sustentável e o futuro do planeta. O conceito de desenvolvimento sustentável emerge na busca de se associar a eficiência econômica com a prudência ecológica. (SANTOS; NASCIMENTO; ALVES, 2016).

Os principais poluentes emitidos pelo carvão mineral, gás natural, óleo combustível e óleo diesel, são: dióxido de carbono, material particulado, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e outros poluentes (CO, metais pesados) (IEMA, 2016).

Os combustíveis fósseis são os mais criticados, devido à produção de uma quantidade de CO₂ que o planeta não tem condições de assimilar a longo prazo, causando o chamado efeito estufa, e também pela possibilidade de emissão de óxidos de enxofre. Nesse contexto, as fontes de energias não poluentes e renováveis são as que melhor atendem as necessidades sociais. Ao se utilizar a queima de um combustível fóssil, inevitavelmente produzem-se gases com grande concentração de CO₂ e com presenças de SO_x (RUGGERO; SILVA, 2018).

A utilização da biomassa para geração de energia também irá gerar CO₂. Mas, esta biomassa é oriunda de plantas que consumiram, durante seu crescimento, exatamente a mesma quantidade desse gás que será devolvida à atmosfera após seu uso final. Como esta opção só se faz sentido se considerar uma área cultivada onde estão crescendo continuamente plantas que virão a produzir a energia de que a sociedade necessita, o balanço de CO₂ é continuamente nulo, não afetando o efeito estufa (RUGGERO; SILVA, 2018).

De acordo com Souza, Silva e Costa (2020), os princípios da Química Verde, relacionados ao projeto, funcionam como marco conceitual na configuração e desenvolvimento de produtos e processos de síntese orientados à prevenção de problemas socioambientais. São eles:

a) Prevenção: evitar a formação de resíduos para não tratá-lo, eliminando assim a possibilidade de poluição futura. O objetivo do projeto é oferecer uma alternativa de reutilização desse resíduo que sobra das operações envolvendo a flora, dessa maneira estará reduzindo entulhos em lixões e uma possível poluição futura.

b) Economia atômica: planejar metodologias sintéticas que maximizem a incorporação de todos os materiais de partida no produto final, eliminando ou diminuindo a formação de resíduos. Como exemplo pode-se citar os processos envolvendo a cana de açúcar, onde o bagaço da cana é descartado, podendo-se utilizar o mesmo como fonte de energia.

c) Eficiência energética: a utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes. A biomassa é uma fonte de energia bem menos poluente se comparado as outras energias mais utilizadas.

d) Uso de matéria-prima de fontes renováveis: priorizar o uso de biomassa como matéria-prima no desenvolvimento de novas tecnologias e processos, em detrimento de fontes não renováveis.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estudar as propriedades e características de diferentes fontes de biomassa, para quantificar seu potencial energético utilizando um calorímetro de baixo custo, em busca de energia limpa, renovável e de baixa despesa, visando assim, aumentar a vida útil dos aterros sanitários e um meio mais ambientalmente correto de destinação dos resíduos verdes, aplicando assim, os princípios da Química Verde.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudar as propriedades características da biomassa;
- Estudar formas de reutilização do resíduo orgânico/verde;
- Construir um Calorímetro para medição do poder calorífico da biomassa;
- Testar a funcionalidade do Calorímetro;
- Medir a eficiência do Calorímetro;
- Produzir energia limpa e ambientalmente mais sustentável;
- Determinar uma melhor destinação para resíduos que não são bem tratados;
- Pesquisar qual é a destinação dos rejeitos da biomassa no município de Limeira;
- Pesquisar a situação dos aterros sanitários da região de Limeira;
- Transmitir conhecimento sobre finalidades que resíduos destinados a aterros possuem;
- Alertar as pessoas sobre a futura escassez dos combustíveis fósseis na superfície terrestre.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Resíduo Verde

De acordo com o site Pensamento Verde (2017), o resíduo verde é composto por todos os resíduos resultantes dos processos de remoção ou poda da vegetação, especialmente plantas e árvores. O conceito descreve os restos da arborização e engloba sobretudo os troncos, galhos e cascas de árvores, bem como folhas (secas ou verdes) e flores. Em outras palavras, trata-se do material orgânico originário da flora.

No Brasil, a maior parte desse tipo de resíduo é descartada em terrenos ou em aterros sanitários. Portanto, é correto afirmar que o país não costuma dar uma destinação útil para o rejeito, perdendo o grande potencial de aproveitamento desse material orgânico, pois, além de ser um desperdício de uma matéria orgânica preciosa, a gestão inadequada dos restos da arborização urbana custa caro para os municípios. Surge também a necessidade de áreas extensas para armazenar os dejetos, como os famosos lixões e aterros sanitários. No Brasil, é muito comum inclusive que o resíduo verde seja simplesmente descartado em terrenos vazios (PENSAMENTO VERDE, 2017).

Atualmente a maior preocupação da humanidade é a incontrolável geração de resíduos, os quais necessitam de um destino final sustentável, técnico e ambientalmente correto. Os processos de geração, descarte e disposição destes resíduos, se realizados incorretamente, podem provocar diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. Os resíduos vegetais gerados pela poda de árvores e pela manutenção de jardins, também conhecidos como resíduo verde, composto por galhos e cascas de árvores, troncos, gramas, folhas verdes ou secas, flores e outros materiais orgânicos de origem vegetal, podem representar uma fração considerável do lixo gerado em uma cidade. A palavra poda pode ser entendida como a retirada de partes de uma planta. Esta operação visa à execução de um conjunto de cortes com finalidades diversas, como o estímulo ao crescimento, à floração, também pode servir para a eliminação de ramos mortos, doentes ou indesejáveis, seja por sua posição inadequada, seja por características estéticas. Portanto, a poda nada mais é do que a remoção, sobre determinadas técnicas, de partes de uma planta com o objetivo de melhorá-la em algum aspecto de interesse da sociedade (ARAUJO, 2018).

3.2. Biomassa

De acordo com a Copel (2016), o conceito de biomassa compreende todas as matérias orgânicas utilizadas como fontes de energia. Os resíduos agrícolas, madeira e plantas - como a cana de açúcar, o eucalipto e a beterraba, colhidos com o objetivo de produzir energia - são os exemplos mais comuns da biomassa. As plantas armazenam energia solar e a transformam em energia química que pode ser convertida em combustível ou calor e, conseqüentemente, em eletricidade. E como podem ser plantadas e replantadas continuamente, considera-se biomassa um recurso renovável.

A biomassa pode ser classificada em dois grandes grupos: (1) biomassa tradicional, composta essencialmente pela lenha e resíduos naturais e (2) biomassa moderna, produzida a partir de processos tecnológicos avançados e eficientes, tais como biocombustíveis líquidos, briquetes e pellets, cogeração (bagaço de cana) e os cultivos dedicados de espécies como o das florestas plantadas e o da cana-de-açúcar. (EMBRAPA, 2016)

Antes de utilizar a biomassa na queima para gerar energia, são feitos alguns processos para obter uma eficiência maior do Poder Calorífico da biomassa, como exemplo temos a Secagem e o adensamento de biomassa sólida (enfardamento, briquetagem e peletização).

De acordo com o estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2016), a presença de umidade na biomassa acarreta na redução do seu poder calorífico, pois parte do calor gerado é consumido na evaporação da água e também no aquecimento dos vapores para atingir a temperatura dos demais gases, além de aumentar os custos com transporte, dificultar a queima, aumenta o volume dos produtos de combustão e a quantidade de monóxido de carbono presente no gás de exaustão.

Dentre questões ambientais decisivas para um futuro sustentável, a discussão sobre o reaproveitamento de resíduos como fonte de energia ganha destaque quando se fala em economia verde. Em aterros sanitários, quando descartada, a matéria orgânica leva cerca de seis meses para se decompor em um processo que gera metano, um dos principais gases do efeito estufa (GEEs). Por outro lado, a combustão converte o metano (CH₄) em dióxido de carbono (CO₂). A queima minimiza o impacto ambiental, pois o dióxido de carbono é aproximadamente 21 vezes menos causador do efeito estufa que o gás metano. (MASTER AMBIENTAL, 2013).

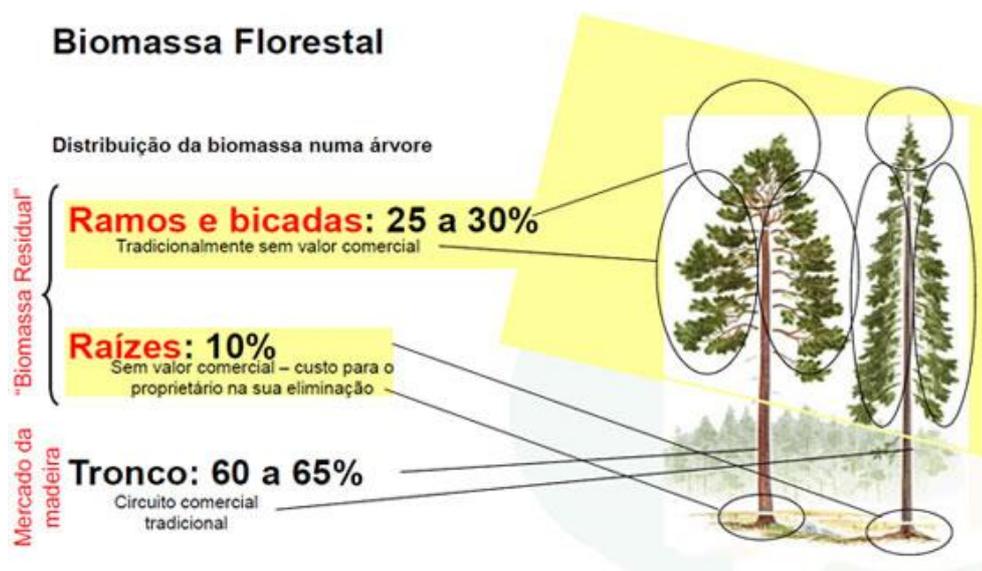
Responsável por pouco mais de 9% da eletricidade consumida no país, a energia de biomassa é aquela obtida pela queima de materiais orgânicos. Entre os materiais mais usados estão bagaço de cana, casca de arroz, cavaco de madeira e caroço de açaí. Também é possível

usar os gases resultantes da decomposição ou incineração de lixo em usinas especializadas (ESTÚDIO ABC, 2017).

De acordo com Copel, (2016) a maior parte da energia consumida no Brasil é proveniente de fontes renováveis como a hidroeletricidade e a biomassa, situação privilegiada no que se refere a suas fontes primárias de oferta de energia. Cerca de 30% das necessidades de energia no país são supridas por biomassa (figura 1), sob as seguintes formas:

- Lenha para queima direta nas padarias e cerâmicas;
- Carvão vegetal para redução de ferro gusa em fornos siderúrgicos e combustíveis alternativos nas fábricas de cimento do Norte e Nordeste;
- Queima de carvão mineral, álcool etílico ou álcool metílico no Sul, para fins carburantes e para indústria química;
- Queima da palha de cana-de-açúcar sucoenergética.

Figura 1: Biomassa Florestal



Fonte: LIPPEL, 2020.

3.2.1. Vantagens e Desvantagens da Biomassa como Energia

A geração de energia a biomassa é renovável, permite o reaproveitamento de resíduos e é menos poluente do que outras formas de energia, como as obtidas a partir da utilização de combustíveis fósseis, como petróleo e carvão mineral. As usinas movidas a biomassa beneficiam-se de licenciamentos ambientais mais simples; combustível abundante no Brasil, podendo vir de subproduto de outras atividades; e facilidade de localização mais próxima aos grandes centros de consumo, reduzindo os custos de transmissão.

(CPFL RENOVÁVEIS, 2016).

Além de emitir gases menos poluentes na atmosfera e serem utilizados recursos renováveis para sua produção, a energia de biomassa possui um armazenamento mais simples, de alta eficiência energética e é de baixo custo (DINÂMICA AMBIENTAL, 2014).

As ações empreendedoras voltadas para a bioenergia podem ser uma grande fonte de riqueza, visto que são enormes a quantidade de energia demandadas atualmente, sendo o calor a energia mais intensamente utilizada para atender e sustentar um processo de desenvolvimento socioeconômico (SANTOS, 2019).

Em comparação com os combustíveis fósseis, como os derivados de petróleo, esses resíduos geram menos emissões de gases causadores do efeito estufa. Por isso, a biomassa é considerada um tipo de energia sustentável. “A combustão de materiais orgânicos devolve à natureza apenas o carbono que a planta usou para crescer, o que não gera prejuízos ambientais”, diz Manoel Regis Lima Verde Leal, gerente de relações institucionais do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (ESTÚDIO ABC, 2017).

O Brasil, segundo a Agência Internacional de Energia (2019), ocupa o terceiro lugar como produtor de energia renovável global, perdendo apenas para China e EUA. E essas fontes continuam liderando a matriz de geração elétrica no país: até outubro de 2018, as energias limpas somaram mais de 80%, informa notícia do site do Ministério de Minas e Energia.

De acordo com o site Revita (2021), como desvantagens da biomassa são mencionados:

- Desmatamento, desflorestamento e destruição de habitats;
- A biomassa líquida (biocombustíveis) contribui para a formação de chuvas ácidas;
- O calor produzido com a queima de biomassa é menor se comparado com outros combustíveis;
- Apesar de menos poluente para o ambiente, quando comparada com a queima de combustíveis fósseis (gasolina, diesel, carvão mineral etc.), a da biomassa é relacionada com um aumento de casos de doenças respiratórias.

Quando utilizada de maneira consciente e dentro de políticas ambientais, a biomassa pode ser uma fonte de energia limpa e que contribui para a preservação ambiental. Isso porque a biomassa utiliza fontes renováveis e emite gases menos poluentes do que as formas tradicionais de obtenção de energia. Como vantagem, o método também apresenta menor custo de produção e operação (DINÂMICA AMBIENTAL, 2015).

Por outro lado, quando a biomassa é utilizada por empresas que não seguem procedimentos ambientais para a preservação das áreas de exploração, pode causar graves impactos ambientais. Entre os problemas associados à má utilização da biomassa, podemos

destacar a formação de chuvas ácidas, poluição do ar, contaminação do solo e mananciais e erosão (DINÂMICA AMBIENTAL, 2015).

3.2.2. Preparação da Biomassa

Algumas características de combustíveis têm a capacidade de influenciar seu desempenho energético. Sendo que, dentre estas características, a umidade é a mais importante, pois age como um fator limitante (FIMACO, 2018).

Conforme estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2016), outra prática que melhora esta eficiência energética é o adensamento da biomassa sólida (enfardamento, briquetagem e peletização).

Enfardamento da biomassa: este método tem como princípio, a compactação dos materiais enfardados. As enfardadeiras são sistemas de recolha de restos florestais que têm por princípio a compactação dos materiais. Desta forma, é possível otimizar o armazenamento e o transporte e permitir recolha dos restos de ramos e bicadas deixados no solo após a operação de corte das árvores (PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2019).

Briquetagem e peletização são processos de densificação energética de biomassa. São processos para transformar resíduo em combustível sólido, o Princípio do processo de briquetagem é o mesmo da peletização, a plastificação da lignina. A dimensão dos pellets varia entre 6 mm e 16 mm, enquanto briquete possui diâmetro a partir de 50 mm. A peletização é um processo de extrusão mais exigente que a briquetagem. As prensas são mais exigentes e processo mais seletivo com resíduos. Todo resíduo de origem vegetal pode ser compactado pela briquetagem ou peletização, bastando atender às necessidades de granulometria, lignina e teor de umidade exigido pelo processo (LIPPEL, 2020).

3.3. O que é uma caldeira?

Segundo o Site São Francisco (2018), as caldeiras são sistemas projetados para aquecer ar ou água para produzir calor ou energia. Eles podem ser incrivelmente simples ou bastante elaborados, mas os modelos básicos são compostos de um recipiente fechado onde o calor é aplicado à água, que é então circulada em todo o sistema sob a forma de água quente ou vapor. A água deve ser fervida para criar vapor, dando o nome do dispositivo.

Algumas outras características incluem válvulas de controle de pressão para evitar que a pressão se acumule demais, pois a água está sendo aquecida. Muitos também têm um tanque maior que é usado para segurar a água à medida que se expande durante o aquecimento. (SÃO FRANCISCO, 2018).

O sistema de vapor recolhe e controla o vapor produzido na caldeira. O vapor é direcionado através de um sistema de tubulação ao ponto de uso. Em todo o sistema, a pressão do vapor é regulada usando válvulas e verificada com manômetros de pressão de vapor. (SÃO FRANCISCO, 2018).

3.3.1. Modelos de Caldeira

3.3.1.1. Caldeira de Vapor

Uma caldeira de vapor é um equipamento térmico que tem por objetivo a queima de determinado combustível para aquecimento de água em seu interior, que, a partir de determinada pressão se torna vapor. Esse fluido é direcionado para um coletor distribuidor, uma espécie de pulmão, e distribuído para suas respectivas tubulações e equipamentos. (VAPORTEC, 2020).

O tratamento de água que alimenta a caldeira é fundamental para o bom funcionamento e preservação estrutural da mesma. Água com sólidos ou rica em metais ferrosos e outros materiais pode e, certamente, irá danificar a estrutura e eficiência da caldeira com o tempo. Mesmo tratando a água de alimentação, é imprescindível a instalação de um sistema de descarga de fundo para remoção do lodo denso no fundo da caldeira. (VAPORTEC, 2020).

Em resumo, podemos dizer que a caldeira foi o grande propulsor da revolução industrial e da indústria de forma geral durante o século 20. Assim, as caldeiras mudaram muito, foram criadas normas e automações e hoje são fundamentais em processos que exigem energia ou força de um fluido térmico. (VAPORTEC, 2020).

3.3.1.2. Caldeira Flamotubular

Elas recebem esse nome pela forma como os gases originários da combustão trocam calor: eles circulam por dentro dos tubos até chegar ao interior da caldeira, e a água, que em outro momento também será aquecida, permanece na área externa. O principal uso dessas fornalhas se dá no rendimento da queima de combustíveis como serragem e óleo combustível, que têm baixo poder calorífico. Nesta variação, os gases de combustão passam pelos tubos em direção à parte superior. (TSAMBIENTALI, 2018)

Assim, vai aquecendo e transformando em vapor a água que permanece do lado externo, ao redor da caldeira. Sua utilização é mais frequente em espaços reduzidos, onde não há necessidade de muito vapor para haver um bom serviço. Há dois tipos de vapores que podem ser produzidos: os superaquecidos e saturados (TSAMBIENTALI, 2018).

É usada com frequência em locais de baixa pressão (até 12 BAR), temperatura e demanda de vapor (até 10 mil quilos por hora), além de ter dimensões pequenas. Locomotivas e navios são alguns exemplos de ambientes onde as caldeiras flamotubulares são adotadas (TSAMBIENTALI, 2018).

3.3.1.3. Caldeiras Aquatubulares

As caldeiras aquatubulares surgiram com o objetivo de suprir a demanda que as caldeiras flamotubulares não tinham a capacidade em cumprir até então. Isso porque, as caldeiras flamotubulares têm duas características: suportam baixas pressões e; apresentam uma pequena superfície de aquecimento. Assim, o desenvolvimento da caldeira aquatubular foi uma maneira de gerar uma maior quantidade de vapor associado também à capacidade de suportar maiores níveis de pressão (SECAMAQ, 2018).

Como atendem a uma grande exigência, essas caldeiras são usadas em projetos maiores, como os realizados em usinas termoeletricas, por exemplo. Nessas empresas, é necessário ter uma maior pressão e produção de vapor nas caldeiras, o que não acontece com as flamotubulares, que atendem a uma demanda de trabalho menor (TSAMBIENTALI, 2018).

As vantagens da Caldeira Aquatubulares são diversas, exemplo é a capacidade de produzir maiores volumes de vapores, ajudando em processos mais exigentes, também suportam elevadas, ainda possui uma facilidade em sua limpeza, que se for bem-feita pode fazer a caldeira durar cerca de 30 anos (SECAMAQ, 2018).

Apesar de tantas vantagens, a caldeira possui duas desvantagens principais, sendo elas: o Tratamento da água da caldeira tem que ser extremamente cuidadoso e o custo é elevado, chegando a custar 50% mais caro que uma caldeira flamotubular com capacidade equivalente (SECAMAQ, 2018).

3.4. Calorímetro

Pode-se dizer que todo recipiente isolado termicamente do ambiente externo é um calorímetro. O calorímetro pode ser usado para a determinação do calor específico das substâncias. Geralmente despeja-se água no seu interior e, após um curto intervalo de tempo,

estando o sistema em equilíbrio térmico, coloca-se um corpo que se quer estudar dentro da água, com temperatura inicial diferente do sistema água-calorímetro.

(SILVA;DOMICIANO;CORREA;MARQUES,2011).

Usado para estudar as trocas de calor entre dois ou mais corpos, principalmente quando um deles está no estado líquido, é conveniente ter um recipiente adequado, que permita obter, de forma direta ou indireta, o valor das quantidades de calor trocadas entre os corpos.

(SILVA;DOMICIANO;CORREA;MARQUES,2011).

3.4.1. Calorímetro de Baixo Custo para Uso Laboratorial

Como mecanismo para medição do valor energético de um composto orgânico (figura 2), utilizam-se latas comuns (de tinta, bebidas e alimentos), onde a queima ocorre dentro destas, com uma das latas contendo água e estando suspensa dentro de outra. A energia liberada pela ignição será absorvida pela lata com o líquido e a partir da variação da temperatura, pode-se realizar o cálculo do poder calorífico (GOMES, 2016).

Figura 2: Calorímetro de Baixo Custo (modelo)

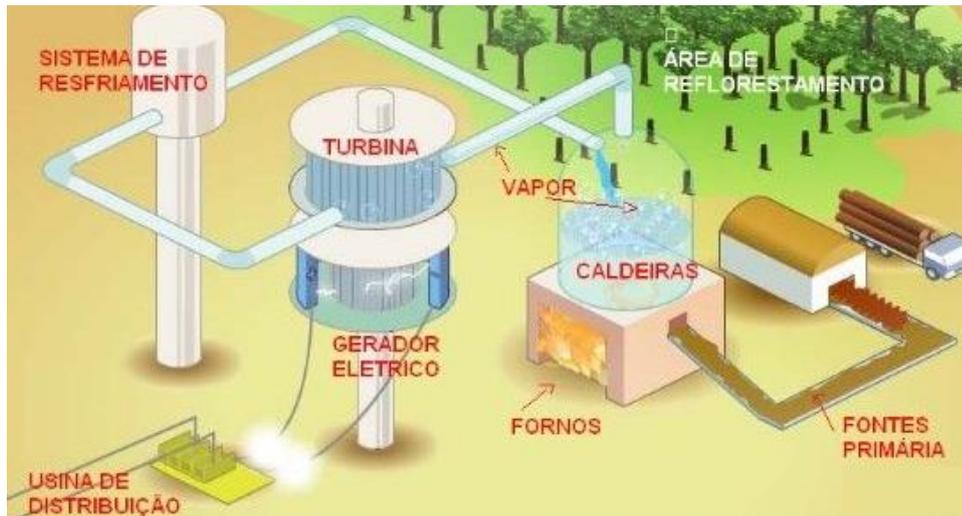


Fonte: GOMES, I., 2016.

3.5. Utilização da Termelétrica para Geração de Energia Através da Biomassa

A queima direta da biomassa em caldeiras é realizada a altas temperaturas na presença abundante de oxigênio, produzindo vapor a alta pressão que é usado para mover turbinas de geradores elétricos (figura 3). É uma das formas mais comuns do uso energético da biomassa. Sua eficiência energética situa-se na faixa de 20 a 25% (CBIE, 2019).

Figura 3: Representação Esquemática do Funcionamento da Usina Térmica a Biomassa



Fonte: Centro Brasileiro De Infra Estrutura (CBIE), 2019.

As termelétricas a biomassa foram responsáveis por quase metade de toda geração térmica verificada em maio no Sistema Interligado Nacional, de acordo com dados divulgados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). A tecnologia, cujo principal combustível é o bagaço da cana de açúcar gerou, produziu 4.167 MW médios, o que representa 44,25% do volume produzido por todas as térmicas. Na comparação com o mesmo período de 2019, a produção de energia com matéria orgânica cresceu 2,06% (CANAL ENERGIA, 2020).

3.6. Custo de Energia

Para poder utilizar a biomassa para produção de energia, primeiro deve-se saber qual é o custo para o investimento nesta energia limpa. Segundo o site Jornal Cana (2016), um estudo aponta que gerar um megawatt-hora (MWh) pela biomassa custa em média R\$189,78 em caso de expansão de oferta de energia elétrica. Quando se trata de emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) advindas das atividades produtivas no mundo, o setor de energia elétrica é o maior emissor de GEE, sendo responsável pela parcela de 42% das emissões em 2012. Isto se deve ao fato de a matriz elétrica mundial ser composta principalmente pelo uso de combustíveis fósseis, sobretudo por derivados de petróleo, carvão mineral e gás natural (COLOMBO; SILVA, 2016).

De acordo com FILHO (2009), um estudo analisa os custos do processo de geração de energia a partir da biomassa – dando especial atenção a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar. A análise se processou após a coleta de dados em quatro usinas que utilizam o bagaço de cana de açúcar como combustível para a geração de energia elétrica. O seguinte trabalho tratou de vários componentes de custos como a implantação da usina, custo de operação e

manutenção, dessa maneira foi possível determinar quanto custa o megawatt-hora em cada uma das usinas que fazem parte do estudo (tabela 1).

Tabela 1: Custo de Implantação de Usinas por MWh

Usinas	Investimento (R\$)	Energia Gerada MWh	Custos R\$/MWh
Santa Isabel	118.500.000,00	455.040	260,42
Cerradinho	103.000.000,00	378.000	272,49
Catanduva	12.000.000,00	69.120	173,61
Santa Cândida	25.000.000,00	167.040	149,66

Fonte: FILHO, P., 2019.

3.7. Relações da Biomassa nas Legislações Vigentes

De acordo com o Capítulo I da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, apoia o uso de fontes alternativas de energia, incentiva a geração de energia a partir da biomassa e subprodutos da produção de biocombustíveis, e diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa, inclusive com o uso do biocombustível (BRASIL, 2018).

Conforme o Capítulo IV, art. 7º da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, regulariza e autoriza desde a produção até a comercialização dos biocombustíveis (BRASIL, 1997).

Qualquer empresa constituída sobre a lei brasileira com sede e administração no país pode obter a autorização da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) para exercer atividades econômicas na indústria dos biocombustíveis, podendo a autorização ser revogada a pedido do próprio interessado ou por descumprir as normas estabelecidas. A unidade produtora de biocombustível que produzir ou comercializar energia elétrica deverá atender às normas, tudo isso está de acordo com o Capítulo IX-A da Lei Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997 (BRASIL, 1997).

3.8. Controle da Poluição da Biomassa

Os separadores úmidos são a melhor tecnologia disponível para a remoção de óxidos de enxofre, tendo sua eficiência de cerca de 92 a 98%. Secador úmido é um nome genérico para equipamentos de controle de poluição que usam o processo de absorção em líquido para separar os poluentes da corrente gasosa. A absorção pode ser entendida como um íntimo contato dos

gases com o líquido de absorção, o que permite que os gases poluentes fiquem dissolvidos no líquido. O principal fator responsável pela performance é a solubilidade dos gases no líquido absorvedor. As partículas aerossóis são transferidas da suspensão da corrente gasosa para o líquido de lavagem via mecanismos de impacto inercial, sedimentação gravitacional, difusão Browniana, eletrostática, difusividade térmica e transporte de massa. A taxa e a extensão da absorção são comumente acompanhadas por reação química (FILLKPLAS, 2018).

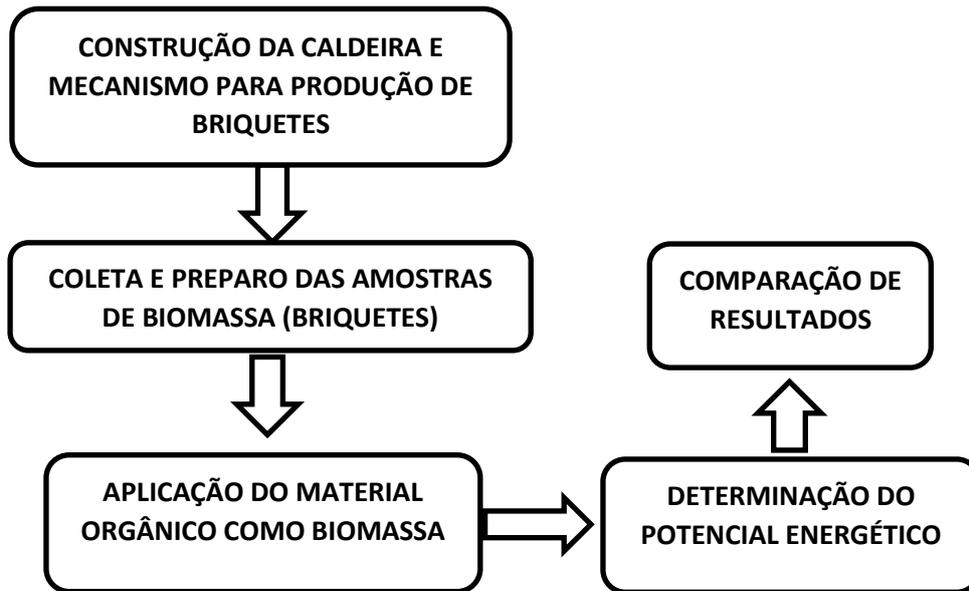
A redução catalítica seletiva é a melhor tecnologia disponível para a remoção de óxidos de nitrogênio (NO_x), tendo sua eficiência de 80 e 90%. Consiste em tecnologias de tratamento dos gases de exaustão que são necessárias quando uma alta eficiência de remoção é necessária por parte dos equipamentos de controle. Nela, as espécies de NO_x são reduzidas por fim em N_2 gasoso. Neste sistema, o gás redutor é injetado na saída do economizador e, ao entrar em contato com os gases de escape, reage com o NO produzindo nitrogênio (N_2) e água, a temperatura ideal de operação é entre 300 e 400 °C (IEMA,2016).

Os precipitadores eletroestáticos são a melhor tecnologia disponível para a remoção de Material Particulado (MP), tendo sua eficiência de 94,8 a 99,5%. Os precipitadores eletroestáticos aplicam cargas elétricas para separar partículas dos fluxos de gás. Uma elevada queda de pressão é estabelecida entre os eletrodos, fazendo com que as partículas que passam por este campo elétrico adquiram carga. As partículas eletricamente carregadas são atraídas e coletadas nas placas eletrificadas com cargas opostas e o gás limpo flui pelo equipamento. Periodicamente, as placas devem ser limpas sacudindo as placas para que a camada de poeira acumulada seja removida. A poeira é coletada em containers no fundo do dispositivo. Os parâmetros de operação que influenciam no desempenho destes equipamentos incluem a carga mássica das cinzas, distribuição granulométrica, resistividade elétrica das cinzas, além da voltagem e da corrente aplicadas. Outros fatores que determinam a eficiência de remoção dos precipitadores são a área da placa coletora e a velocidade do gás (IEMA, 2016).

4. MATERIAS E MÉTODOS

As atividades experimentais foram serão realizadas no laboratório de tecnologia química da ETEC Trajano Camargo, sob a supervisão do Profº Sérgio Delbianco Filho, conforme fluxograma (figura 4).

Figura 4: Fluxograma de Atividades Experimentais



Fonte: Acervo pessoal, 2020.

4.1. Construção do Calorímetro

Para a construção do Calorímetro, os materiais utilizados foram:

- 2 latas de leite em pó de 400g;
- 1 lata de Tinta;
- 1 barra pequena de ferro;
- 1 Termômetro;
- Caixa de leite;
- Furadeira.

Primeiramente, na parte superior da lata de tinta, com auxílio da furadeira, foi feito um furo em cada extremidade desta, no sentido horizontal e na mesma altura. Após furar a lata, o mesmo foi feito meia lata de leite em pó. Esse procedimento foi realizado para suporte do copo, que ficou pendurado dentro da lata, onde a barra de ferro teve como função sustentar o recipiente da água.

Para o procedimento foram necessários recipientes para a água e para os briquetes em combustão, para isso foram utilizados metade da base de 2 latas de leite em pó. Posteriormente, realizou-se o isolamento térmico da caldeira com a parte interna da caixa de leite, recortando-a e colando-a a um nível mediano para que, dessa maneira, não houvesse contato com a fogo.

Cumprindo-se essas operações, foi realizada a abertura na parte inferior da lata de tinta no formato de retângulo com medidas para a inserção de uma meia lata de leite em pó, para que quando ocorresse o experimento, a biomassa fosse inserida dentro da meia lata de leite em pó, já em combustão. Além de abertura servir para colocar os resíduos verdes em chamas, a abertura auxilia na entrada de oxigênio, evitando o abafamento do fogo.

Na tampa da tinta foram realizados vários furos para ajudar na entrada de oxigênio, além de fazer uma abertura maior para introduzir o termômetro no recipiente de água, porém a abertura deve ser justa ao termômetro pois o mesmo não pode entrar em contato com o fundo do recipiente. Por fim, para homogeneizar a temperatura da água durante a queima foi criado um pequena barra com hélices que ao agitar a água manualmente igualaria a mesma temperatura para todo o corpo.

4.2. Coleta e Preparo de Amostras de Biomassa (Briquetes)

O material utilizado no experimento foi coletado nos resíduos de vendedores de suco, que extraem o fluído contido na biomassa e despacham seus bagaços ou restantes.

4.2.1. Primeiro Mecanismo para Produção de Briquetes

O briquete, conhecido como “lenha ecológica”, é um bloco cilíndrico resultante da compactação de resíduos como serragem, casca de arroz, palha de milho, bagaço de cana, capim e tantos outros gerados em atividades agrícolas. O briquete potencializa o poder calorífico da queima de resíduos verdes e pode reutilizar diversos materiais antes sem nenhuma finalidade para a sua fabricação. Após estudos, foi possível entender o conceito e fora construído um mecanismo. O primeiro protótipo foi feito a partir dos seguintes materiais:

- 2 tábuas de madeira;
- 4 barras de metal;
- 12 porcas;
- 12 ruelas;
- 2 canos de PVC (sendo 1 dos canos maior que o outro);

- 3 *caps* PVC (sendo dois do mesmo tamanho do cano PVC menor e outro do tamanho do cano PVC maior);
- Cola para madeira e plástico, base com abertura.

Nas duas tábuas de madeira foram feitos quatro furos em suas extremidades, sendo executados nos mesmos lugares em ambas as tábuas. Logo após introduziu-se as quatro barras de ferro em cada um dos furos. Para firmar a base do mecanismo, foram utilizadas porcas e ruelas, tanto na parte de baixo, como na parte superior a tábua.

Para comprimir o resíduo verde, utilizou-se o cano de PVC menor já com os dois *caps* em suas extremidades, fixando-o na parte central da outra tábua de madeira. Após isso, foram encaixados seus quatro furos na parte de cima das barras de metal e colocadas as porcas e ruelas apenas na parte superior da tábua.

Para o recipiente onde se encontraria o resíduo, fora empregado o cano de PVC maior. Com o *cap* em uma de suas extremidades, foram feitos alguns furos para que, no momento que a água fosse comprimida, conseguisse sair. Além disso, foi colocada uma pequena base com abertura, para que a água pudesse escoar durante o processo.

Com o protótipo pronto (figura 5), foi preparado resíduo verde e colocado no cano de PVC maior, ajustando ambos os canos para que quando houvesse a compressão, estes pudessem se encaixar. Para se realizar a compressão, bastou apertar as porcas da tábua de cima aos poucos e a mesma desceu, fazendo uma força contrária a base, fazendo com que o cano de PVC menor entrasse dentro do cano maior - onde estava o resíduo, comprimindo-o.

Figura 5: Primeiro Mecanismo de Produção de Briquetes



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

4.2.2. Segundo Mecanismo para Produção de Briquetes

Materiais utilizados:

- Pistola de silicone;
- 2 canos PVC (um sendo maior que o outro e os canos precisam encaixar na pistola de silicone);
- 2 *caps* PVC.

O cano de PVC maior se localizava na extremidade da pistola, devendo ter um dos seus lados fechados e com alguns furos pequenos para a saída de água. O cano de PVC menor teve seus dois lados fechados com os *caps* e ao pressionar a pistola contra este, fora empurrado à extremidade, se encaixando dentro do cano maior, onde estava a biomassa, realizando, dessa forma, a compressão (figura 6).

Figura 6: Segundo Mecanismo de Produção de Briquetes



APÓS COMPRIMIR:



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

4.3. Aplicação do Material Orgânico como Biomassa

O briquete de resíduos verdes foi colocado no recipiente de biomassa, e já em combustão, foi introduzido ao calorímetro para a realização do experimento. Após ter ocorrido toda a sua queima, utilizaram-se seus dados para o cálculo do poder calorífico.

4.4. Determinação do Potencial Energético

Joseph Black (1728-1799): Médico, químico e físico britânico. Foi pioneiro da química moderna e descobridor do calor específico e do calor latente. Joseph Black nasceu em Bordeaux, onde seu pai, que era descendente de irlandeses e de escoceses, comerciava vinhos. Black foi educado em Belfast, Glasgow e Edinburgh, finalmente estudando medicina. Seu trabalho de doutorado em medicina, detalhado em um artigo de 1756, foi sua maior contribuição à química, constituindo um modelo de experimentação e de lógica. Ele percebeu a grande importância de registrar as variações de massa que acompanhavam as reações, e reconheceu a importância dos gases. Black estudou os ciclos de mudanças, que atualmente são expressas por meio de fórmulas químicas, numa época em que a composição das substâncias ainda não era conhecida, já que o uso de fórmulas e a teoria atômica foram desenvolvidas muito depois de sua época (FEM UNICAMP, 2017).

Black ensinou a nova visão de Lavoisier sobre a Química, quando as mesmas surgiram, mas suas próprias pesquisas dirigiram-se principalmente à física. Aproximadamente em 1763 Black demonstrou que era necessário fornecer calor para promover mudanças de fase de sólido para líquido, ou de líquido para vapor, sem que a temperatura se elevasse. A essa quantidade de calor necessária para promover a mudança de fase, sem alterar a temperatura, ele chamou de calor latente. Dessa forma, Black pode distinguir claramente entre calor e temperatura. Estudou as capacidades térmicas de diversas substâncias, definindo o conceito de calor específico. (FEM UNICAMP, 2017).

Através da fórmula do calor sensível (figura 7), foi possível quantificar o calor emitido pela biomassa sobre a água.

Figura 7: Fórmula do Calor Sensível

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Fonte: ALVES, J., 2018.

Q = é a quantidade de calor (J ou cal)

m = massa do corpo (kg ou g)

c = calor sensível (J / g. °C)

Δt = variação da temperatura (°C)

4.5. Comparação de Resultados

Foram feitas as medições e a queima dos materiais orgânicos e, após o término da experiência, calculou-se o calor sensível dos elementos utilizados como biomassa, conforme a fórmula do calor sensível (figura 7). Então, comparou-se todos os cálculos e determinou o combustível que teve maior rendimento energético.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Construção do Modelo de Caldeira e Mecanismo para Produção de Briquetes

O modelo de caldeira (figura 8) foi construído com o intuito de calcular a quantidade de calor os resíduos verdes poderiam gerar, mas só foi possível quantificar a quantidade de calor absorvida pela água na caldeira.

Figura 8: Modelo de Caldeira



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

O mecanismo para produção de briquetes (figura 6) foi criado com a intenção de comprimir diversos tipos de resíduos verdes e gerar uma alta densidade de biomassa, amplificando o poder calorífico. Na tabela 2 são apresentados seus pontos positivos e negativos.

Tabela 2: Pontos Positivos e Negativos do Modelo de Caldeira e Mecanismo para Produção de Briquetes

Pontos positivos da Caldeira e Mecanismo para Produção de Briquetes: Baixo Custo, construção simples, fácil manipulação, matéria prima bem acessível

Positivos Negativos da Caldeira: Perda de Calor pelas aberturas, Dificuldade na queima devido ao abafamento de CO₂, ambiente externo influencia diretamente.

Positivos Negativos da Produção de Briquete: 1º Modelo tinha sua base frágil e pela alta pressão de força se rompeu

Fonte: Acervo pessoal, 2021.

5.2. Coleta e Preparo das Amostras de Biomassa (Briquetes)

Para a produção de briquetes e a realização da combustão, os resíduos verdes foram coletados principalmente de comerciantes que trabalham com suco de fruta. Neles foram realizados os processos de lavagem e trituração, para, em seguida, criar os briquetes. Além dos resíduos verdes provenientes desses mercadores, foram utilizados papéis e folhas secas (figuras 9 e 10).

Figura 9: Briquete Composto por Bagaços de Cana de Açúcar e Laranja, Papel e Folhas Secas



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Figura 10: Briquete Composto por Mato



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

5.3. Aplicação do Material Orgânico como Biomassa

O primeiro teste foi feito apenas com mato (vegetação constituída de plantas não cultivadas, de porte médio, e sem qualquer serventia), sem a forma de briquete. Não ocorreu a

queima dentro da caldeira, observou-se que a ausência de fogo era gerada pela pouca entrada de oxigênio na caldeira, sendo feitas, assim, várias aberturas na caldeira.

O segundo teste de queima foi realizado com briquete feito apenas de papel, porém não ocorreu uma queima constante, então sentiu-se a necessidade de um combustível para ajudar no aumento da combustão, e de um maçarico para gerar uma chama mais intensa.

No terceiro teste, utilizou-se briquete de mato com papel, obtivendo uma combustão mais constante, sendo possível calcular a quantidade de calor absorvida pela água.

No quarto teste foi introduzido o briquete composto de bagaço de cana de açúcar, bagaço de laranja, folha seca e papel (figura 9), tendo bons resultados. Foi possível a determinação dos dados necessários.

No experimento realizado no dia 19 de novembro de 2021, na Etec Trajano Camargo, em parceria com outro projeto de objetivos semelhantes ao presente TCC, com os integrantes Bruno Felipe da Silva, Gabriel Felipe Dias do Prado e Anthony Paulo Rocha Oliveira (membro de grupo externo ao projeto discorrido), determinou-se a quantidade de energia absorvida pela água sobre diversos tipos de biomassa (tabela 3).

Tabela 3: Diferentes Tipos de Combustíveis e o Calor Sensível Absorvido pela Água

Combustível Utilizado	Temperatura Inicial (Ti)	Temperatura Final (Tf)	Massa da água	Varição de Temperatura	Calor Sensível
Folha de Bananeira Seca (Laboratório)	25°C	41°C	244,91g	16°C	3918,56cal
Mato Seco (Laboratório)	25°C	33°C	240,34g	8°C	1922,72cal
Briquete (C, L, F, P. Laboratório)	25°C	45°C	236,29g	20°C	4725,8cal
Briquete (Mato, em casa)	31°C	41°C	280,6g	10°C	2833,33cal
Briquete (C, L, F, P. Melhor resultado, em casa)	30° C	77°C	240g	47°C	11280cal

Fonte: Acervo pessoal, 2021.

5.4. Determinação do Potencial Energético

No teste feito com briquete de mato com papel, dois briquetes foram queimados. A primeira tentativa foi feita com o briquete de 9g. A temperatura da água aumentou 12°C, sendo a massa da água igual a 231g. Calculou-se que a água absorveu a seguinte quantidade de calor

Na segunda tentativa de queima do briquete de mato, com massa de 6g, a temperatura da água aumentou 8°C, sendo a massa da água igual a 331g. Determinou-se que a água absorveu a seguinte quantidade de calor. A quantidade de calor absorvido pela água foi anotada (tabela 3).

Foram feitos alguns briquetes compostos por bagaço de cana-de-açúcar e laranja, folha seca e papel (o papel serve como liga para o briquete, ajuda na compactação entre os componentes). O melhor resultado de queima entre os briquetes, foi um briquete de aproximadamente 7g, que através de sua queima aumentou a temperatura da água em 47°C, sendo a massa da água igual a 240g. A quantidade de energia absorvida pela água durante a queima foi anotada (tabela 3).

5.5 Comparação de Resultados

Entre os componentes utilizados para a queima, o que melhor se sobressaiu foi o briquete feito com bagaço de laranja e cana de açúcar, papel e folha seca, tendo seu melhor resultado de 47cal/g de água (tabela 4).

O cálculo realizado para determinar o quanto de calor foi absorvida por 1g foi a regra de três, envolvendo os dados da massa de água pelo calor sensível da determinada queima.

Tabela 4: Tabela Decrescente Comparando a Quantidade de Calor Absorvido em 1g de Água em Cada Biomassa

Combustíveis (Biomassa)	Calor absorvido em 1g de água (cal/g)
Briquete (C, L, P, F. Melhor resultado, em casa)	47
Briquete (C, L, P, F. Laboratório)	20
Folha de Bananeira	16
Briquete de Mato	10,0973
Folha Seca	8

Fonte: Acervo pessoal, 2021.

6. CONCLUSÃO

Atualmente, os problemas sobre a possível extinção de combustíveis fósseis normalmente utilizados e o prejuízo causado ao planeta através de sua queima, por gerar gases causadores do efeito estufa, são assuntos muito recorrentes em nossa realidade. Por essa razão, diversas organizações estão desenvolvendo combustíveis renováveis e menos poluentes ao meio ambiente. No atual projeto, juntou-se a ideia de apresentar uma alternativa energética e reutilizar resíduos verdes, que normalmente seriam descartados e inutilizados.

Foram criados uma caldeira e um mecanismo de produção de briquetes. A caldeira tem a importância de determinar os dados da combustão e posteriormente realizar os devidos cálculos utilizando os mesmos. O mecanismo de produção de briquetes serve para a criação de briquetes, que por ter alta densificação de massa, amplificaria o poder da queima, e foi o que realmente aconteceu.

Como sugestão para trabalhos futuros, busca-se a construção do calorímetro de baixo custo, para que não tenha perda de calor, resultando assim, em uma determinação do potencial energético mais exato, além do estudo de diversos briquetes feitos com diferentes resíduos verdes e aplicação destes em locais que normalmente utilizam lenha comum para a queima, comparando sua eficiência.

REFERÊNCIAS

A geração de energia elétrica com energias renováveis aumenta sua força. *Biomassa BR*; 2016. Disponível em: <http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=3918>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ALVES. **Termologia.** *Educamais Brasil*; 13 dez. 2018. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

ARAUJO, Renato de Oliveira. **Briquetagem em Resíduos de Flora Urbana.** *AgBauru*; [s.d.]. Disponível em: <https://agbbauru.org.br/publicacoes/Alimentando2ed/pdf/Alimentando2ed-31.pdf>. Acesso em: 19 maio 2021.

Biomassa fica em terceiro em ranking de custos para gerar energia. *Jornal Cana*; 21 dez. 2016. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/biomassa-fica-em-terceiro-em-ranking-de-custos-para-gerar-energia/>. Acesso em: 17 maio 2021.

Biomassa produziu metade da geração termelétrica em maio. *Canal Energia*; 15 jul. 2020. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53140494/biomassa-produziu-metade-da-geracao-termeletrica-em-maio-diz-ccee>. Acesso em: 14 maio 2021.

Biomassa. *Copel*; Jan, 2016. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco>. Acesso em: 17 mar. 2020.

Biomassa. *Portal das Energias Renováveis*; [s.d.]. Disponível em: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=3&ID_area=2&ID_sub_area=2. Acesso em: 17 maio 2021.

Biomassa: conheça as vantagens e desvantagens desse tipo de energia. *Dinâmica Ambiental*; 2014. Disponível em: <https://www.dinamicambiental.com.br/blog/sem-categoria/biomassa-conheca-vantagens-desvantagens-desse-energia/>. Acesso em: 15 mar. 2020.

Black, Joseph (1728-1799). *Fem Unicamp*; [s.d.]. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

Briquetagem e peletização. *LIPPEL*; [s.d.]. Disponível em: <https://www.lippel.com.br/artigos-academicos/briquetagem-e-peletizacao> Acesso em: 17 maio 2021.

Caldeira Aquatubular: Saiba como funciona e conheça suas Vantagens. *Secamaq*; [s.d.]. Disponível em: <https://www.secamaq.com.br/caldeira-aquatubular-vantagens/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

Caldeira flamotubular: conheça mais sobre seus tipos, vantagens e funcionamento. *TS Ambiental*; 2 mar. 2018. Disponível em: <http://www.tsambientali.com.br/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

Caldeira. *Portal São Francisco*; [s.d.]. Disponível em: <https://www.portalsaofrancisco.com.br/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

Calorímetro. *Descontraindo a física*; 2010. Disponível em: <http://2anomontessori.Blogspot.com/2010/03/calorimetro.html>. Acesso em: 14 abr. 2020.

Combustíveis Fósseis. *Infopedia*; [s.d.]. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/\\$combustiveis-fosseis](https://www.infopedia.pt/$combustiveis-fosseis). Acesso em: 1 maio 2020.

Como a biomassa se transforma em energia? *CBIE*; 29 nov. 2019. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/como-a-biomassa-se-transforma-em-energia-eletrica/>. Acesso em: 14 maio 2021.

Confira os impactos causados pela biomassa. *Dinâmica Ambiental*; 23 jul. 2015. Disponível em: <https://www.dinamicambiental.com.br/blog/meio-ambiente/>. Acesso em: 17 maio 2021.

Descarte de lixo verde: onde descartar e a importância da atividade. *Pensamento Verde*; 7 dez. 2017. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/descarte-de-lixo-verde-onde-descartar-e-importancia-da-atividade>. Acesso em: 6 mar. 2020.

Energia de biomassa tem espaço para crescer. *Estúdio ABC*; 2015. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/tecnologia/energia-de-biomassa-tem-espaco-para-crescer/> Acesso em: 14 abr. 2020.

Entenda por que a secagem da Biomassa é um processo crucial. *Fimaco*; 2018. Disponível em: <https://www.fimaco.com.br/blog/secagem-da-biomassa/>. Acesso em: 16 mar. 2020.

FERREIRA, André Luis. **Geração termoeleétrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle.** *IEMA*; 2016. Disponível em: <https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/IEMA-EMISSOES.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

FILHO, Paulo Lucas Dantas. **Análise de Custos na Geração de Energia com Bagaço de Cana de Açúcar.** *USP*; 10 jun. 2011. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10062011-114743/publico/Paulo_Dantas.pdf. Acesso em: 10 maio 2021.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **O que é um calorímetro?** *Prepara ENEM*; [s.d.]. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/quimica/o-que-um-calorimetro.htm>. Acesso em: 14 maio 2021.

GAMA, Mara. **Brasil produz mais lixo, mas não avança em coleta seletiva.** *Folha de S. Paulo*; 6 mar. 2018. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/09/brasil-produz-mais-lixo-mas-nao-avanca-em-coleta-seletiva.shtml>. Acesso em: 12 mar. 2020.

GOMES, Italo. **Experiência de Calorimetria do Amendoim – FÍSICA.** *Youtube*; 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch>. Acesso em: 7 mai. 2020.

LEITE; Jeferson. **Construção de um Calorímetro.** *Youtube*; 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch>. Acesso em: 7 mai. 2020.

LIMA, Andrei Fellipe Veríssimo de. **Estudo experimental da calorimetria através da utilização de um calorímetro construído com material de baixo custo.** 2019. TCC (Graduação – Licenciatura em Química). Instituto Federal da Paraíba. Paraíba, 2019.

MARTINI, Rodrigo. **Acúmulo de lixo verde é problema crônico na maioria dos bairros.** *A Hora*; 2018. Disponível em: <https://www.jornalahora.com.br/conteudos/2018/05/24/acumulo-de-lixo-verde-e-problema-cronico-na-maioria-dos-bairros/>. Acesso em: 20 abr. 2020

Meio Ambiente Industrial: Energia para renovar. 138. ed. São Paulo, 2019.

O Lixo como Fonte de Energia. *Master Ambiental*; 2013. Disponível em: <https://www.masterambiental.com.br/noticias/energia/o-lixo-como-fonte-de-energia/>. Acesso em: 15 mar. 2020.

O que é um calorímetro? *Greelane*; 22 jul. 2019. Disponível em: <https://www.greelane.com/pt/ci%C3%AAncia-tecnologia-matem%C3%A1tica/ci%C3%AAncia/definition-of-calorimeter-in-chemistry-604397/>. Acesso em: 8 maio 2020.

Quanto custa gerar energia da biomassa? *Celulose Online*; 8 fev. 2017. Disponível em: <https://www.celuloseonline.com.br/quanto-custa-gerar-energia-da-biomassa/>. Acesso em: 10 maio 2021.

REIS, Pedro. **Vantagens e desvantagens da energia a biomassa.** *Portal Energia*; 12 dez. 2016. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/>. Acesso em: 19 maio 2021.

RODRIGUES, P.R.B, et al. **Estudo do potencial de reutilização dos resíduos de poda do município de palmas – TO.** *ISSN*; 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Kleber/Downloads/EAPT-2014-1278.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2020.

SANTOS, Guilherme Henrique Fávero; NASCIMENTO, Raphael Santos do; ALVES, Geziele Mucio. **Biomassa Como Energia Renovável No Brasil.** *Revista Uningá*; 2016. Disponível em: <http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1966/1562>. Acesso em: 16 mar. 2020.

SANTOS, Mayer Andrade. **Avaliação do potencial de utilização dos resíduos da poda e corte de arbóreos e gramíneas (massa verde) na geração de energia térmica.** 2019. 58f. *Mestrado* – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

Secador Rotativo para Secagem de Biomassa. *Lippel*; 2020. Disponível em: <https://www.lippel.com.br/secador-rotativo/secador-rotativo-para-secagem-de-biomassa/>. Acesso em: 17 mar. 2020.

SILVA, Marcelo; RUGGERO, Paulo. **Efeitos da Utilização da Energia de Biomassa sobre o Meio Ambiente.** *UNICAMP*; [s.d.]. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/gaseif/gaseif.html>. Acesso em: 18 maio 2021.

SILVA, Marco Aurélio da. **Aula Prática: Construção De Um Calorímetro.** *Brasil Escola*; 2019. Disponível em: <https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/aula-pratica-construcao-um-calorimetro.htm>. Acesso em: 20 abr. 2020.

SOUSA, A.; SILVA, C.; COSTA, T. **A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do Ensino Médio.** *UFPB*; [s.d.]. Disponível

em: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen19/REEC_19_3_5_ex1745_449.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.

Vantagens e Desvantagens da Utilização da Biomassa na Produção de Energia. *Revita*; [s.d.]. Disponível em: <https://revita.ind.br/blog/biomassa-na-producao-de-energia/>. Acesso em: 17 maio 2021.

Vantagens e Desvantagens dos Lavadores de Gases Industriais. *Fillkplas*; 27 ago. 2018. Disponível em: <https://fillkplas.com.br/vantagens-e-desvantanges-dos-lavadores-de-gases-industriais/>. Acesso em: 24 maio 2021.