



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de Itapeva

THAYS NUNES DE ALMEIDA

**PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA
RESINA DE *Pinus sp.*, CLASSIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS
RESÍDUOS DO PROCESSO PRODUTIVO E SUA IMPLICAÇÃO NO
MEIO AMBIENTE**

Itapeva - SP
2015

THAYS NUNES DE ALMEIDA

**PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA
RESINA DE *Pinus sp.*, CLASSIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS
RESÍDUOS DO PROCESSO PRODUTIVO E SUA IMPLICAÇÃO NO
MEIO AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Itapeva, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana Esteves Fernandes Cieslinski

Itapeva - SP
2015

A447p Almeida, Thays Nunes de
Produção de breu e terebintina a partir da goma resina de *Pinus sp*, classificação e quantificação dos resíduos do processo produtivo e sua implicação no meio ambiente / Thays Nunes de Almeida. – – Itapeva, SP, 2015
62. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado – Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva, 2015

Orientadora: Juliana Esteves Fernandes Cieslinski

Banca examinadora: Ricardo Marques Barreiros, Gustavo Ventorim

Bibliografia

1. Resíduos. 2. Poluentes. 3. Gomas e resinas. I. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva II. Título.

CDD 628.53

THAYS NUNES DE ALMEIDA

**PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA
RESINA DE *Pinus sp.*, CLASSIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS
RESÍDUOS DO PROCESSO PRODUTIVO E SUA IMPLICAÇÃO NO
MEIO AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: _____



Prof.ª. Dr.ª. Juliana Esteves Cieslinski

Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

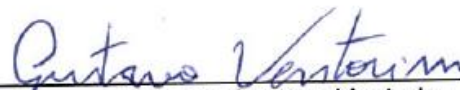
2º Examinador: _____



Prof. Dr. Ricardo Marques Barreiros

Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

3º Examinador: _____



Prof. Dr. Gustavo Ventorim

Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

Itapeva, 12 de novembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e pela fé e força de vontade que tenho dentro de mim.

Aos meus pais, Joanita e Benedito, pela educação, pelo carinho, pelo amor, por acreditarem sempre em mim e por me ajudarem a me tornar quem eu sou.

Às minhas irmãs, Mírian e Mônica, pelo companheirismo, amor, exemplo que foram e são para mim.

À minha sobrinha, Maria Fernanda, que mesmo sendo tão pequena, me ensina muito com sua inocência e amor.

À minha tia Nilsa, pelo cuidado, amor e por toda educação que me deu, principalmente incentivo aos estudos.

À minha prima Ludmyla, que, mesmo longe, sempre esteve presente em meu coração, pelo apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu amado, Marcos Antônio, pela compreensão, companheirismo, paciência e por todo amor e carinho que me proporcionou ao longo de nossas vidas como casal.

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Juliana Esteves Fernandes Cieslinski, pela sua orientação, dedicação e paciência.

Aos meus amigos pela compreensão, amizade e conselhos.

Aos técnicos de laboratório Francisco Almeida Filho e Juscelino de Jesus Pereira Melo, pelo auxílio e dedicação em suas atividades.

Às empresas Nunes e Almeida Indústria e Comércio de Resinas LTDA, Dal Col Soluções Ambientais e Resisul Agroflorestal LTDA, pelo fornecimento de dados para realização deste trabalho.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” Campus de Itapeva.

E a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

RESUMO

Desde a época do incentivo fiscal, por volta dos anos 60 e 70, a extração da goma resina tem ganhado espaço no Brasil, atualmente uma das atividades mais lucrativas nesse ramo é a destilação da mesma para obtenção do breu e da terebintina. Entretanto esse processo de destilação da goma resina apresenta, na fase da pré-filtragem, um resíduo composto por sólidos grosseiros como acículas, lascas de tronco e cascas que pode ser considerado como biomassa para geração de vapor para o próprio processo produtivo a partir da sua queima direta. Todavia, com essa queima há a emissão de compostos indesejáveis na atmosfera, os poluentes atmosféricos, que precisam ser monitorados e controlados. Com isso, neste trabalho classificaram-se e quantificaram-se os resíduos do processo produtivo, além da amostragem dos poluentes gasosos emitidos na atmosfera, verificando a viabilidade para sua utilização energética. A queima foi realizada em um sistema de queima composto por um alimentador e um queimador de biomassa, que pertence ao Laboratório de Controle Ambiental da UNESP de Itapeva e para a análise das emissões de gases utilizou-se um analisador eletroquímico portátil UniGas 3000+ da *Eurotron Instruments*. Dos resultados obtidos, tanto pela caracterização energética do resíduo quanto pelo analisador eletroquímico, criaram-se tabelas e plotaram-se gráficos para facilitar posteriores análises e comparações com outros autores. As concentrações máximas de CO, NO_x, SO₂ e CO₂ obtidas nas queimas foram de 1603 ppm, 29 ppm, 40 ppm e 2,6%, respectivamente.

Palavras-chave: Goma resina, Breu, Terebintina, Resíduo, Biomassa, Meio Ambiente, Emissões de gases atmosféricos.

ABSTRACT

Since the time of the tax incentive, around the 60s and 70s, the extraction of gum resin has gained ground in Brazil, currently one of the most profitable activities in this field is the distillation thereof to obtain the pitch and turpentine. However this process of distillation of the rosin shown in the pre-filtering stage a residue composed of coarse solids as needles, trunk splinters and bark which can be considered as biomass for steam generation to the production process from its direct burning. However, with this burning for the emission of undesirable compounds in the atmosphere, the air pollutants that need to be monitored and controlled. And therefore, in this study they were classified and quantified the waste from the production process, as well as sampling of gaseous pollutants emitted into the atmosphere, checking the feasibility of its energy use. The burning was carried out in a firing system consists of a feeder and a burner biomass , which belongs to the environmental control laboratory Itapeva UNESP and the analysis of gas emissions used a portable electrochemical analyzer UNIGAS 3000+ of EUROTRON Instruments. The results obtained by both the energy characterization of waste and by electrochemical analyzer have been set up tables and graphs are plotted in order to facilitate further analysis and comparisons with other authors. CO maximum concentrations, NO_x, SO₂ and CO₂ obtained from the burnings were 1603 ppm, 29 ppm, 40 ppm and 2.6% respectively.

Keywords: Gum resin, Pitch, Turpentine, Waste, Biomass, Environment, Atmospheric emission.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Barca.....	15
Figura 2 - Malaxadores.....	16
Figura 3 – Pré-filtros.....	16
Figura 4 - Filtro de placas.....	17
Figura 5 – Resina filtrada	17
Figura 6 – Tanque pré-capa	18
Figura 7 – Cubas de decantação	19
Figura 8 – Destilador	20
Figura 9 – Barricas para exportação do breu	20
Figura 10 – Breu para mercado interno.....	21
Figura 11 – Tanque de depósito de terebintina	21
Figura 12 – Fluxograma produtivo.....	22
Figura 13 – Disposição das máquinas.....	23
Figura 14 – Fluxograma dos resíduos produzidos	24
Figura 15 – Sistema de alimentação de biomassa	36
Figura 16 – Perfil de concentração de CO ₂ (a), CO (b), O ₂ (c) durante a experiência de combustão da biomassa de Eucalipto com pellets de resíduos florestais.....	37
Figura 17 – Resultados de concentração de CO em função do tempo de queima da biomassa da mistura de cavaco de Eucalipto e <i>Pinus</i> (TU=14,62% e PCS=17.569J/kg)	40
Figura 18- Resultados de concentração de CO ₂ em função do tempo de queima da biomassa da mistura de cavaco de Eucalipto e <i>Pinus</i> (TU=14,62% e PCS=17.569J/kg)	41
Figura 19 - Resultados de temperatura do gás em função do tempo de queima da biomassa da mistura de cavaco de Eucalipto e <i>Pinus</i> (TU=14,62% e PCS=17.569J/kg)	41
Figura 20 - Resultados de concentração de NO _x em função do tempo de queima da biomassa da mistura de cavaco de Eucalipto e <i>Pinus</i> (TU=14,62% e PCS=17.569J/kg)	42

Figura 21 – Amostra do resíduo sólido da pré-filtragem utilizada para realização deste trabalho.....	43
Figura 22 – Bomba calorimétrica.....	45
Figura 23 – Calorímetro.....	45
Figura 24 – Sistema de queima.....	46
Figura 25 – Desenho esquemático do sistema de queima de biomassa	47
Figura 26 – Analisador eletroquímico portátil UniGas 3000+ da <i>Eurotron Instruments</i>	48
Figura 27 – Sonda de amostragem	48
Figura 28 – Teor de umidade deste trabalho com resultados de outros autores.....	51
Figura 29 - Poder Calorífico Superior deste trabalho com resultados de outros autores	51
Figura 30 – Concentrações de CO em função do tempo de queima. (a) Queima 1; (b) Queima 2.....	52
Figura 31 – Concentrações de NOx em função do tempo de queima. (a) Queima 1; (b) Queima 2	54
Figura 32 – Concentrações de SO ₂ em função do tempo de queima. (a) Queima 1; (b) Queima 2	55
Figura 33 – (a) Concentrações de CO ₂ em função do tempo de queima (b) Temperatura do gás em função do tempo.....	56
Figura 34 – (a) Concentrações de CO ₂ em função do tempo de queima (b) Temperatura do gás em função do tempo.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos resíduos de acordo com a ABNT NBR 10.004/2004 ...	25
Tabela 2 - Tabela quantitativa dos resíduos gerados na produção de breu e terebintina.....	26
Tabela 3 – Poder Calorífico Superior e teor de umidade dos pellets estudados, adaptado	28
Tabela 4 – Valores médios do teor de umidade e poder calorífico das amostras, adaptado	28
Tabela 5 - Teor de umidade e poder calorífico de algumas espécies florestais estudadas, adaptado	29
Tabela 6 – Padrões nacionais de qualidade do ar estabelecidos pelo CONAMA	34
Tabela 7 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos a partir da combustão de derivados da madeira para fontes fixas industriais e de geração de energia elétrica estabelecidos pelo CONAMA	35
Tabela 8 – Características das biomassas utilizadas nos ensaios de combustão, adaptado.....	38
Tabela 9 – Resultados médios obtidos na análise dos gases da combustão, adaptado.....	39
Tabela 10 – Teor de umidade e poder calorífico para este trabalho	50

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPEF	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
EPI	Equipamento de Proteção Individual
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
TU	Teor de Umidade
MDF	Medium Density Fiberboard
DAP	Diâmetro à Altura do Peito

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA RESINA DE <i>Pinus sp.</i>.....	12
2.2 EXTRAÇÃO DA GOMA RESINA	12
2.2.1 COMPOSIÇÃO DA GOMA RESINA	13
2.3 PROCESSO INDUSTRIAL DE SEPARAÇÃO DE BREU E TEREBINTINA PROVENIENTES DA GOMA RESINA	14
2.4 CLASSIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO PRODUTIVO	23
2.4.1 CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DO RESÍDUO SÓLIDO DA PRÉ-FILTRAGEM.....	26
2.4.2 IMPLICAÇÃO AMBIENTAL DA QUEIMA DO RESÍDUO SÓLIDO DA PRÉ-FILTRAGEM.....	29
2.4.2.1 QUEIMA DE BIOMASSA – CONCEITO E IMPORTÂNCIA	30
2.4.2.2 QUEIMA DE BIOMASSA – POLUENTES ATMOSFÉRICOS	32
2.4.2.3 ESTUDOS SOBRE A EMISSÃO DE GASES POR QUEIMA DE BIOMASSA.....	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO DA PRÉ-FILTRAGEM DA GOMA RESINA	43
3.1.1 TEOR DE UMIDADE	44
3.1.2 PODER CALORÍFICO SUPERIOR	44
3.2 AMOSTRAGEM DE GASES	46
3.2.1 LOCAL E INSTRUMENTO DE AMOSTRAGEM	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50

4.1 CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DO RESÍDUO DA PRÉ-FILTRAGEM DA GOMA RESINA	50
4.2 QUEIMA DA BIOMASSA – POLUENTES ATMOSFÉRICOS	52
5 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Quando ocorre a destilação da goma resina obtêm-se dois produtos, o breu e a terebintina, que são utilizados em inúmeras unidades produtivas, entre elas pode-se citar a indústria alimentícia, na fabricação de papel, tintas, vernizes, farmacêuticas e, passando pela indústria química fina, pode ser utilizada também na composição de vitaminas e perfumes, entre outras utilizações.

No processo de destilação ocorre a pré-filtragem da goma resina, e nesta etapa produz-se o resíduo, que será o foco deste trabalho. Este resíduo é composto por sólidos grosseiros como acículas, lascas de tronco e cascas, que possivelmente caíram no momento da extração da goma resina na área florestal.

A partir da Revolução Industrial houve um consumo exacerbado dos recursos naturais, devido à alta produtividade das indústrias e o consumismo da sociedade. Esta degradação dos recursos naturais teve como consequência o prejuízo crescente e acelerado do meio ambiente, o qual é facilmente detectado em mudanças drásticas no clima, catástrofes ambientais, esgotamento dos recursos naturais, contribuindo para o aumento do aquecimento global.

Devido às preocupações do esgotamento de recursos naturais e com todas as mudanças do meio ambiente, começou-se a se pensar em aproveitamento dos resíduos gerados pelos processos industriais que são os principais poluidores com emissões de carbono na atmosfera. Há alguns anos, os estudos de maneiras para o aproveitamento desses resíduos e o gerenciamento ambiental dos mesmos têm crescido, pois de nada adianta aproveitar o resíduo sem gerenciar o quanto o meio ambiente em que ele se encontra será afetado.

O CONAMA é um órgão nacional que estabelece normas, critérios, padrões nacionais de controle de poluição e resoluções para o cumprimento dos objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente. Este órgão auxilia as indústrias a diminuir os prejuízos já causados ao meio ambiente e gerenciar os prejuízos futuros.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar como é realizado o processo da destilação da goma resina, assim como propor a utilização do resíduo da pré-filtragem como biomassa para geração de vapor para o próprio processo produtivo, desta forma caracterizou-se esta biomassa da parte energética e ambiental, verificando a viabilidade de utilização para tal fim.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura a respeito da produção de breu e terebintina a partir da goma de *Pinus elliottii* var. *elliottii*, passando pela extração da goma resina, processo produtivo do breu e da terebintina, classificação e quantificação dos resíduos produzidos neste processo e a implicação ambiental da queima do resíduo sólido gerado na pré-filtragem.

2.1 PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA RESINA DE *Pinus* sp.

A grande maioria das florestas, onde se faz a extração de goma resina, é ainda oriunda da época do incentivo fiscal nos anos 60 e 70. Essas árvores foram plantadas em sistema adensado, visando apenas a produção de matéria prima para indústrias de celulose e papel, inviabilizando tanto a extração de goma resina, como a produção de toras para indústrias de serraria e laminação. À medida que foram se desenvolvendo, foram sendo feitos desbastes, deixando-as com espaçamento maior, havendo um maior desenvolvimento do tronco e da copa. Isto viabilizou a extração de goma resina, que apesar de ser uma atividade secundária na floresta, levou o Brasil da condição de importador, para exportador, na década de 80 (NEVES et al., 2001).

Entre as inúmeras espécies existentes, em várias partes do mundo, apenas as do gênero *Pinus* são verdadeiramente produtoras de goma resina, ainda que a produção varie dentro desse gênero, de espécie para espécie. A goma resina do *Pinus elliottii* var. *elliottii* é composta de 68% de breu, 17% de terebintina, 10% de umidade da resina, produzida pela própria árvore, 5% de impurezas sólidas e água das chuvas (NEVES et al., 2001). Devido a sua composição, o *Pinus elliottii* var. *elliottii* produz a goma-resina de melhor qualidade para as indústrias de breu e terebintina.

2.2 EXTRAÇÃO DA GOMA RESINA

Segundo IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (1978), primeiramente deve-se selecionar as árvores, visando assegurar a continuidade da

resinagem, bem como manter um bom crescimento e alto rendimento em madeira e goma resina, portanto, a extração de resina aplica-se a árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 25 cm, com boas formações de copa. As árvores submetidas à resinagem são selecionadas, visando assegurar a continuidade desta prática, bem como para manter um bom crescimento e alto rendimento em madeira e goma resina.

Após a seleção, ocorre a preparação da árvore a ser estriada, faz-se a medição do diâmetro da árvore com o auxílio de um instrumento chamado suta, que é uma espécie de paquímetro de peças móveis com que se medem diâmetros, então seleciona-se as árvores que tiverem 22 cm ou mais de DAP, depois inicia-se a operação de raspagem, que consiste na retirada da casca grossa da árvore conseguindo com isso deixá-la livre de rugosidade.

Depois da retirada da casca, faz-se as estrias podendo ser retas ou em formato de “V”, após isso faz-se um sulco mais profundo e aplica-se uma pasta sulfúrica, para estimular a produção da goma resina. Logo em seguida, coloca-se um saco plástico e amarra-se com arame liso, este saco será posicionado dentro do sulco, de tal forma que a goma resina que escoar pelo sulco caia dentro do saco plástico. Quando o saco plástico estiver com uma quantidade ideal de goma resina, este será recolhido manualmente e toda goma resina será transportada para os tambores, que depois são coletados e encaminhados às unidades produtivas de breu e derivados.

2.2.1 COMPOSIÇÃO DA GOMA RESINA

De acordo com Neves et al. (2006), a goma resina é uma mistura de hidrocarbonetos de cadeia longa, composta por vários ácidos resínicos, tendo como principal deles, o ácido abiético, que após a destilação, separa-se em parte sólida chamada de Breu e em parte volátil chamada de Terebintina.

a) BREU

Segundo Neves et al. (2001), a obtenção do breu é decorrente de três modos, sendo dois deles por métodos destrutivos (breu de cepo e breu de *tall oil*), e

o terceiro breu “vivo” produzido a partir da goma resina extraída de árvores vivas, este último tratado neste trabalho.

O breu de cepo, ou breu morto, é obtido pelo aproveitamento da base remanescente do corte da floresta, juntamente com as raízes grossas.

O breu de *tall oil* é resultante do aproveitamento obrigatório do resíduo (lixívia negra) da industrialização da celulose de fibra longa.

A extração da goma resina, através do método de resinagem em árvores vivas, é responsável por 64% da produção mundial de breu, e esse é denominado breu vivo, colofônia, pez ou gum rosin. NAVAL STORE, (2000 apud Neves et al., 2001).

Segundo Neves et al. (2001), a principal aplicação do breu é para colas utilizadas na fabricação do papel, tintas e vernizes, adesivos, borrachas sintéticas, sendo o restante aplicado nas áreas de cosmética, alimentícia, e outras.

b) TEREBINTINA

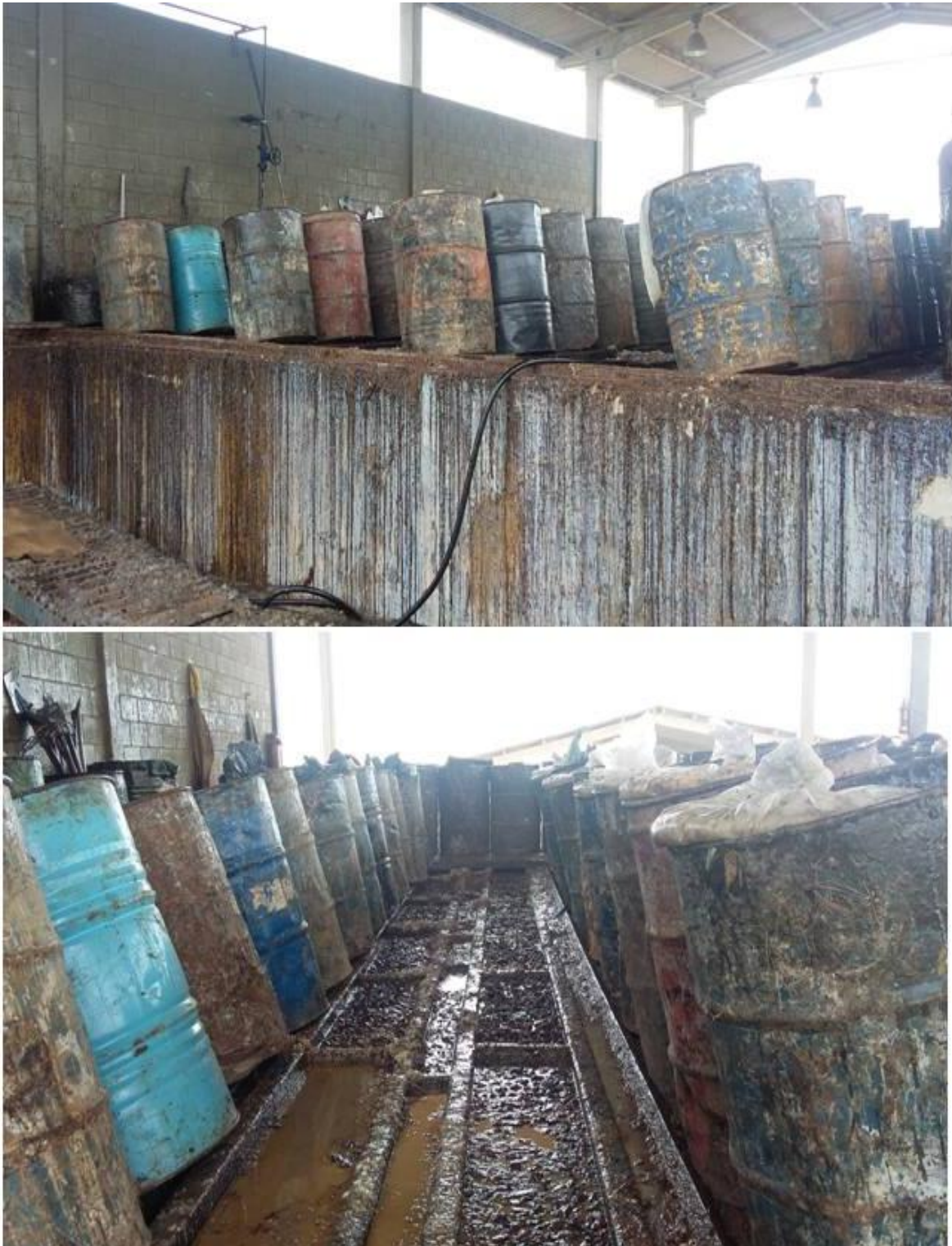
Segundo GARRIDO et al. (1998 apud Neves et al., 2001) a terebintina, também chamada de aguarrás vegetal, obtida pela destilação da goma resina, é um líquido oleoso, transparente, rico em α e β pineno, que são compostos cíclicos aromáticos; os quais permitem sua utilização como matéria prima para industrialização de grande número de produtos, tais como: acetato de terpenila, isobornila, terpineol, que são utilizados na indústria de fragrâncias e perfumaria, desinfetantes “pinho” e, passando pela indústria de química fina, a terebintina também gera produtos nobres, tais como: vitaminas, componentes de inseticidas naturais, resinas politerpênicas para colas especiais, dentre outros. O seu uso é estendido para os solventes de tintas especiais, bem como, na área farmacêutica, em produtos como Gelol, Vick VapoRub, pomada de basilicão, entre outros.

2.3 PROCESSO INDUSTRIAL DE SEPARAÇÃO DE BREU E TEREBINTINA PROVENIENTES DA GOMA RESINA

Assim que a goma resina chega à fábrica, ela é descarregada nas barcas (Figura 1) e levada aos malaxadores (Figura 2), onde é diluída com aproximadamente 13% de terebintina, adquirida externamente ou reutilizada do

processo, ou seja, para produzir terebintina, a partir da goma resina, deve-se utilizar terebintina para sua diluição. O objetivo desta diluição é facilitar o processo de filtragem na sequência, ou seja, deixar a goma resina homogênea.

Figura 1 - Barca



Fonte: Própria autoria, 2015

Figura 2 - Malaxadores



Fonte: Própria autoria, 2015

Posteriormente, a goma resina diluída passa pelo pré-filtro (Figura 3), onde são retirados os sólidos grosseiros como acículas e lascas de tronco ou cascas.

Figura 3 – Pré-filtros



Fonte: Própria autoria, 2015

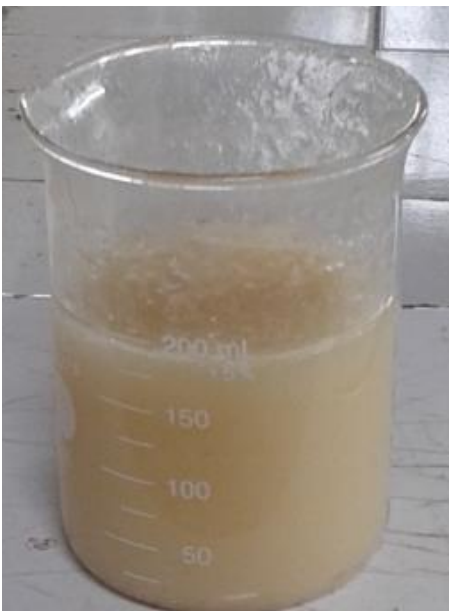
Logo após este procedimento, a goma é filtrada novamente através do filtro de placas (Figura 4), retirando qualquer impureza que o pré-filtro não conseguiu retirar, obtendo a resina filtrada (Figura 5).

Figura 4 - Filtro de placas



Fonte: Própria autoria, 2015

Figura 5 – Resina filtrada



Fonte: Própria autoria, 2014

O filtro de placas mantém-se ligado ao tanque pré-capa (Figura 6), que realiza a formação das capas filtrantes. O tanque pré-capa deve estar com

aproximadamente 4 toneladas de água quente a uma temperatura de 95°C, esta água faz um ciclo entre o filtro de placas e o tanque pré-capa, realizando uma purificação das placas, durante 10 minutos, após este tempo é adicionado na água do tanque pré-capa o pó-filtrante, então esta solução (água quente e pó-filtrante) passa pelo filtro de placas durante 15 minutos, desta vez formando as capas das placas filtrantes, após este processo o filtro está apto para a filtragem da goma resina.

Figura 6 – Tanque pré-capa



Fonte: Própria autoria, 2015

Depois de filtrada, a resina é levada às cubas de decantação (Figura 7), onde decanta por 12 horas, a uma temperatura aproximada de 60 a 80°C, retirando o excesso de água existente na resina filtrada.

Figura 7 – Cubas de decantação



Fonte: Própria autoria, 2015

Logo após esse procedimento, a resina filtrada é enviada ao destilador (Figura 8), onde há a separação da terebintina e do breu.

Figura 8 – Destilador



Fonte: Própria autoria, 2014

O breu sai para embalagem, podendo ser em barricas para exportação (Figura 9) ou em cristais para mercado interno (Figura 10), normalmente embalado em sacos de rafia, sendo carregados por uma empilhadeira até o caminhão, que realiza o transporte para as unidades de beneficiamento.

Figura 9 – Barricas para exportação do breu



Fonte: Própria autoria, 2014

Figura 10 – Breu para mercado interno



Fonte: Própria autoria, 2014

A terebintina continua no processo, passando pelo condensador, caixa de separação, caixa de cristalização e enviada ao tanques de depósito (Figura 11).

Figura 11 – Tanque de depósito de terebintina



Fonte: Própria autoria, 2015

Na caixa de separação ocorre a separação da água restante do processo e a terebintina. Na caixa de cristalização é feita a purificação com sal grosso e desta

forma a terebintina está pronta para venda, sendo carregada diretamente por caminhões tanque, que realizam o transporte até as unidades de beneficiamento.

O fluxograma do processo produtivo descrito e a disposição das máquinas encontram-se nas Figuras 12 e 13, e foram confeccionados de acordo com os dados fornecidos pela empresa NUNES E ALMEIDA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE RESINAS LTDA.

Figura 12 – Fluxograma produtivo

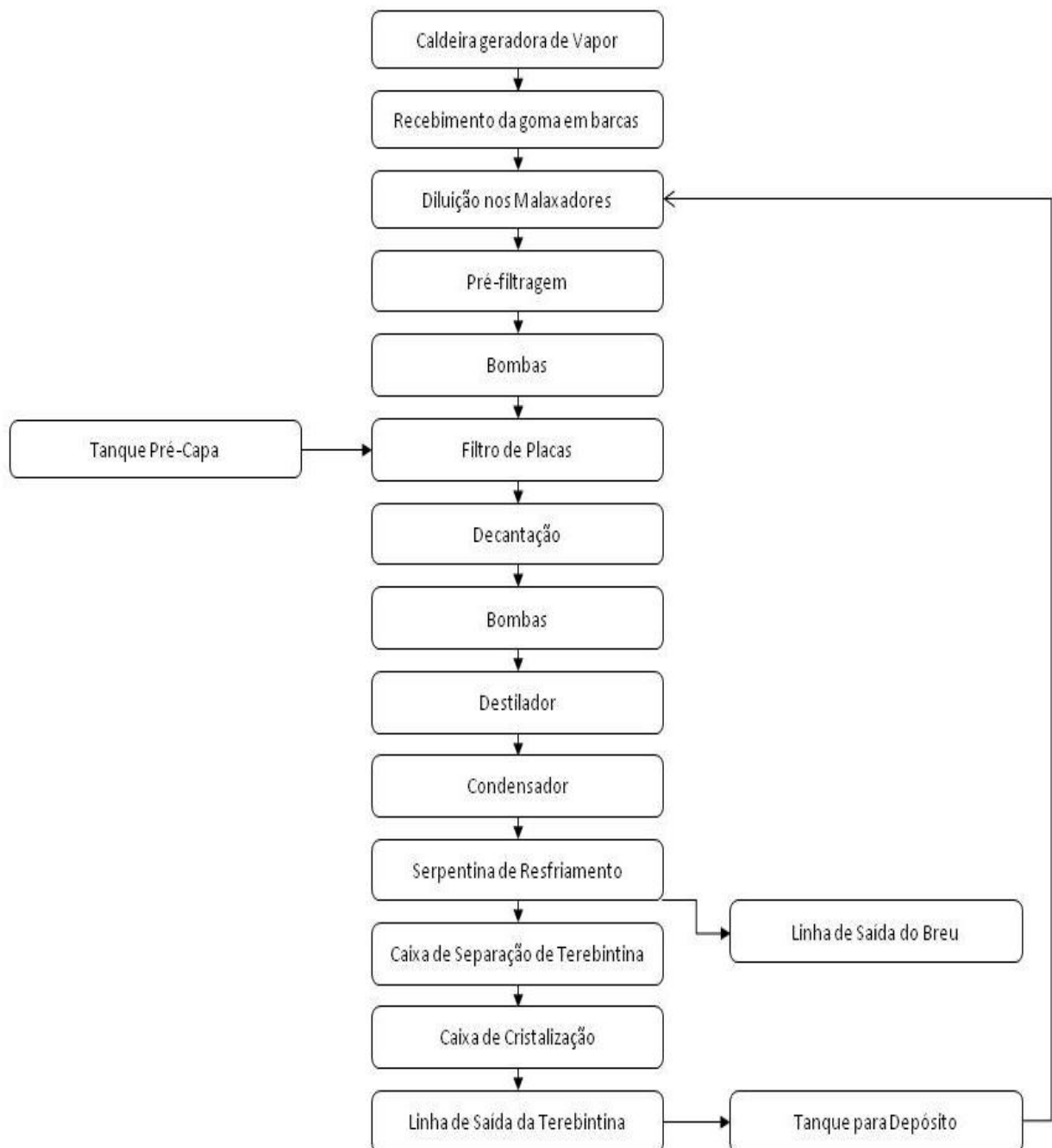
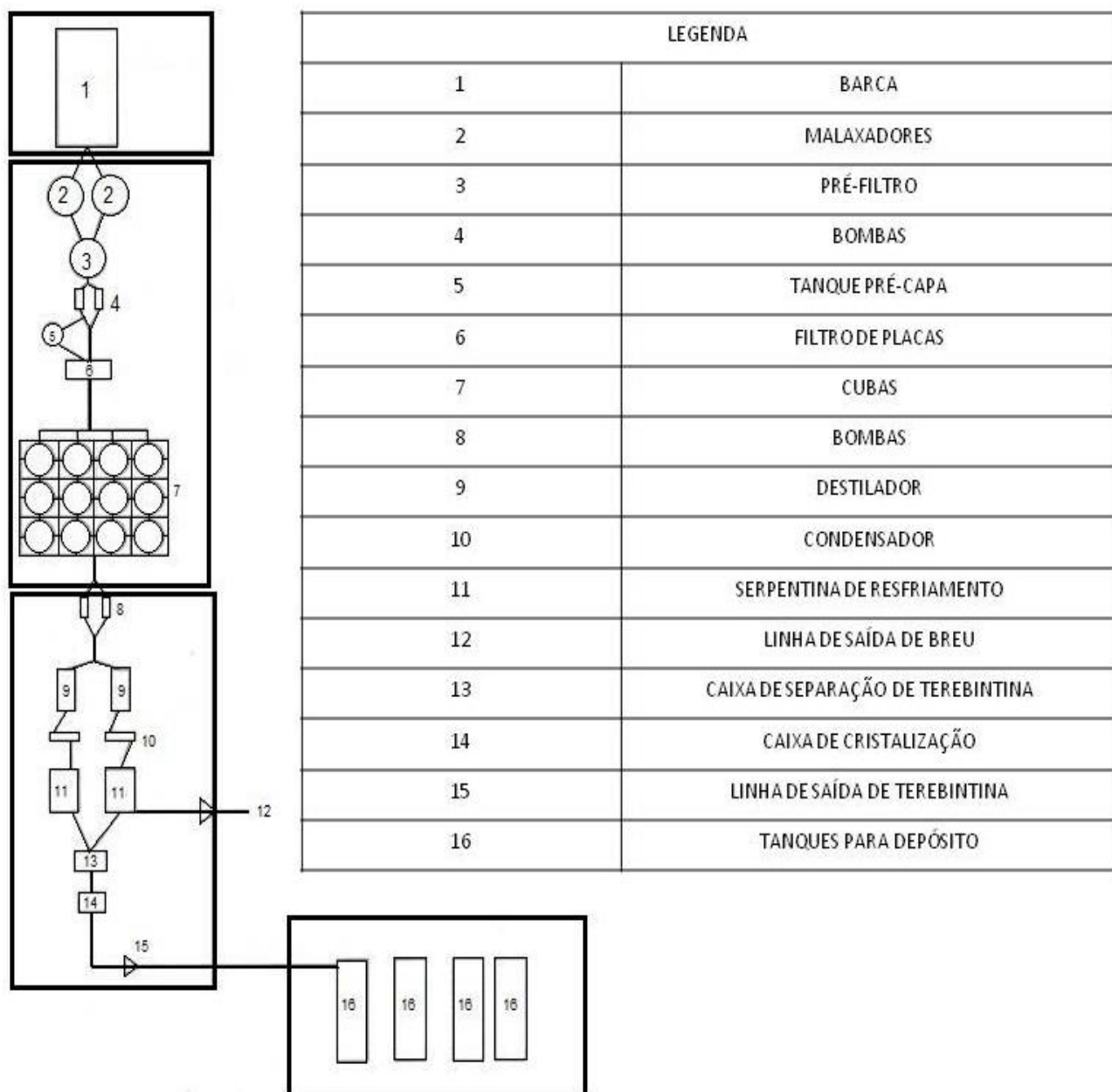


Figura 13 – Disposição das máquinas



Fonte: Própria autoria, 2015

2.4 CLASSIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO PRODUTIVO

Os dados de classificação e quantificação dos resíduos do processo produtivo foram fornecidos pelas empresas NUNES E ALMEIDA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE RESINAS LTDA e DAL COL SOLUÇÕES AMBIENTAIS.

A partir do fluxograma produtivo (Figura 13), os resíduos produzidos em cada etapa do processo foram descritos (Figura 14) e classificados de acordo com a norma ABNT NBR 10.004:2004 (Tabela 1).

Figura 14 – Fluxograma dos resíduos produzidos

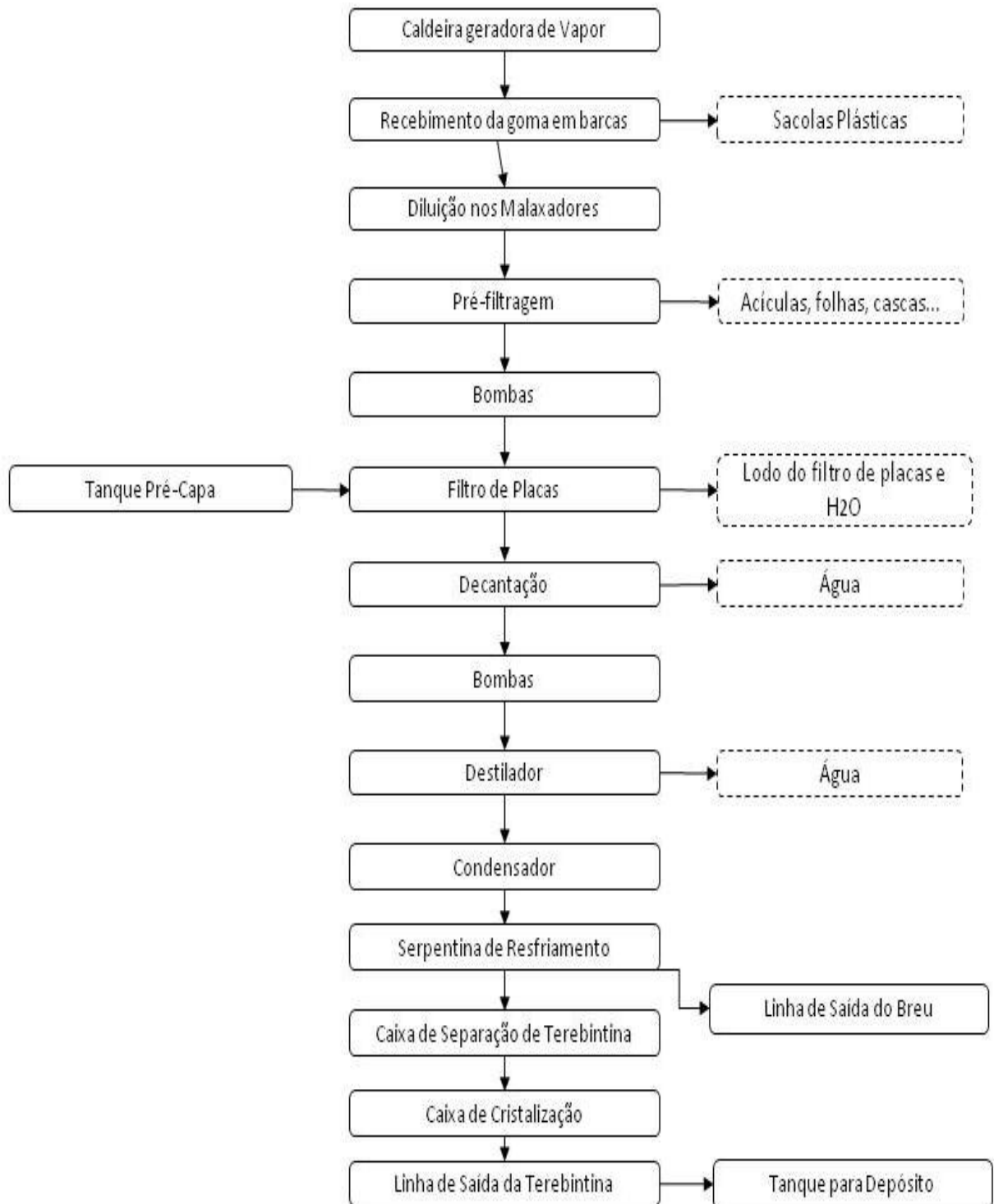


Tabela 1 - Classificação dos resíduos de acordo com a ABNT NBR 10.004/2004

Local de geração dos resíduos	Classificação dos resíduos		Tipo de resíduos	Acondicionamento	Quantidade Estimada
	Tipo de resíduos	de acordo com a ABNT NBR 10.004 / 2004.			
Recebimento da goma resina nas barcas	Sacolas Plásticas (polietileno de alta densidade)	A007 (não perigoso)	Sacolas Plásticas (polietileno de alta densidade)	Esvaziadas totalmente, lavadas e secadas para posterior formação de fardos.	150 a 200 Kg/mês (1.000 a 2.000 sacos)
	Sucata de tambor de metal	A004 (não perigoso)	Sucata de tambor de metal	Armazenado ao ar livre.	500 Kg/mês.
Pré-filtragem	Resíduos de resina (acículas, folhas, terra, casca de árvore, etc.).	A009 (não perigoso)	Resíduos de resina (acículas, folhas, terra, casca de árvore, etc.).	Tambores de 200 L	300 Kg/dia
Filtro de Placas	Lodo do filtro de placas (rocha inerte triturada)	A011 (não perigoso)	Lodo do filtro de placas (rocha inerte triturada)	Acondicionamento em <i>bigbags</i> e após secagem próxima ao filtro de placas o resíduo é armazenado no barracão	20 t/ano
Todos os processos da fábrica	EPI usado	A007, A008, A010 (não perigoso)	EPI usado	Sacos plásticos de 50L.	10 un./mês

Fonte: Própria autoria, 2015

Além disso, a Tabela 2 traz a quantificação dos resíduos gerados nas principais atividades dentro do processo produtivo.

Tabela 2 - Tabela quantitativa dos resíduos gerados na produção de breu e terebintina

Atividade	Resíduo Gerado	Quantificação
Recebimento da resina do campo	Sacolas plásticas e Sucata de tambor de metal	150 a 200 kg/mês e 500 kg/mês, respectivamente.
Pré-filtragem	Sólidos grosseiros, lascas de tronco e acícula	300 kg/dia
Filtro de Placas	Lodo do filtro de placas (rocha inerte triturada)	20 ton/ano

Fonte: Própria autoria, 2015

2.4.1 CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DO RESÍDUO SÓLIDO DA PRÉ-FILTRAGEM

De acordo com Brand (2004), biomassa é qualquer tipo de matéria orgânica que possa ser transformada em energia. A biomassa pode ser classificada como florestal, agrícola ou rejeitos urbanos e industriais. Os derivados da biomassa obtidos dependem tanto da matéria prima utilizada quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos. A biomassa é uma fonte de energia renovável, e quando utilizada corretamente torna-se sustentável, a partir do manejo florestal correto dos seus resíduos e dos cuidados das emissões de gases na atmosfera. A biomassa pode ser uma alternativa para substituição dos combustíveis não renováveis na produção de energia. A partir deste conceito, o resíduo sólido

resultante da pré-filtragem, formado pelas acículas, folhas, insetos e qualquer impureza contida na goma resina, pode ser considerado uma biomassa.

Segundo Cendofanti (2005), há uma alternativa da utilização das acículas como biomassa para iniciar o aquecimento de fornos de carbonização em substituição ao óleo diesel. A composição química da biomassa será o determinante para a quantificação energética do derivado, ou seja, para a determinação do seu poder calorífico através de bomba calorimétrica ou através dos cálculos a partir da sua composição química.

Quando determinada através da bomba calorimétrica, a amostra é queimada em atmosfera de oxigênio puro a alta pressão, uma massa de água será aquecida pela reação e determina-se o conteúdo energético através da diferença de temperatura. Quando determinada através dos cálculos da composição química da biomassa, verifica-se o calor liberado pela ligação entre o oxigênio e os elementos presentes na sua composição, que por ser uma matéria orgânica é composta por carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e inertes. O poder calorífico varia de acordo com a quantidade desses compostos orgânicos presentes na amostra da biomassa (ORTOLAN et al., 2006).

Existem dois tipos de poder calorífico, o poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI). Para determinar o PCS, efetua-se a combustão a volume constante e a água formada durante esta combustão se condensa e o calor formado é recuperado. O PCI é determinado após a dedução das perdas com a evaporação da água, ou seja, é a energia efetivamente disponível por unidade de massa (QUIRINO et al., 2005).

De acordo com Menezes (2013), o poder calorífico é inversamente proporcional ao teor de umidade, pois o excesso de umidade dificulta a combustão e aumenta a energia necessária para evaporar o excesso de água existente na amostra.

Garcia (2010) estudou as características químicas, físicas e térmicas de quatro tipos de *pellets* comerciais de diferentes estados brasileiros, o primeiro *pellet* estudado era composto por Eucalipto do estado de São Paulo, o segundo e o terceiro *pellet* eram compostos por *Pinus* do estado do Paraná e o quarto *pellet* era composto por *Pinus* do estado de Santa Catarina. Na Tabela 3 encontram-se os valores de PCS e os teores de umidade para os *pellets* mencionados.

Tabela 3 – Poder Calorífico Superior e teor de umidade dos pellets estudados, adaptado

Pellets	PCS (MJ/kg)	Teor de umidade (% massa)
1	18,81	10,25
2	19,48	6,76
3	19,13	7,78
4	18,71	8,55

Fonte: Garcia (2010)

Em seu trabalho, Menezes (2013) estudou o poder calorífico e a análise imediata de maravalha de *Pinus* sp. e maravalha de *Araucaria angustifolia*, resultantes do processamento da plaina moldureira, adquiridas na Madeireira BIASIN, na cidade de Realeza no estado do Paraná. Os resíduos utilizados eram provenientes de plantios comerciais e as amostras foram disponibilizadas sem misturas, nas condições em que se encontravam após o processamento. Para a determinação do teor de umidade seguiu-se a norma ASTM E871 e para determinação do PCS seguiu-se a Norma ABNT/NBR 8633/84. Os resultados obtidos por Menezes (2013) estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios do teor de umidade e poder calorífico das amostras, adaptado

Amostras	Teor de umidade (% massa)	PCS (MJ/kg)
Maravalha de <i>Pinus</i> sp	11,30	17,23
Maravalha de <i>Araucaria angustifolia</i>	11,34	17,32

Fonte: Menezes (2013)

Já Quirino et al. (2005) realizou um levantamento bibliográfico com os dados disponíveis na literatura e alguns testes realizados pelo Laboratório de Produtos Florestais - IBAMA de poder calorífico e teores de umidade de muitas

espécies florestais, os dados obtidos pelos testes estão descritos na Tabela 5, sendo que estão elencadas aquelas semelhantes à biomassa florestal estudada neste presente trabalho. Para a determinação do PCS, foram realizados segundo a norma ABNT NBR 8633/84 e manual do calorímetro PARR 1201.

Tabela 5 - Teor de umidade e poder calorífico de algumas espécies florestais estudadas, adaptado

Nome comum das espécies	Teor de umidade (% massa)	PCS (kcal/kg)
Briquete de resíduo de madeira misturado com casca de arroz	10,40	4545
<i>Eucalyptus sp</i>	10,50	4525
Madeira com casca de <i>Pinus sp</i>	12,90	4978
Madeira de <i>Pinus sp</i>	12,90	4720
Casca de <i>Pinus sp</i>	12,90	5036

Fonte: Quirino et al. (2005)

2.4.2 IMPLICAÇÃO AMBIENTAL DA QUEIMA DO RESÍDUO SÓLIDO DA PRÉ-FILTRAGEM

Segundo Lora (2002), poluição ambiental é a degradação do ambiente, ou seja, são as mudanças nas características físico-químicas ou biológicas do ar, água ou solo, que afetam negativamente a saúde, a sobrevivência ou as atividades humanas e as de outros organismos vivos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define os resíduos sólidos industriais como todos os resíduos no estado sólido ou semi-sólido, resultantes das atividades industriais, ficando incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle da poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente viáveis, em face da melhor tecnologia disponível (LORA, 2002).

A queima de resíduos, em especial os resíduos sólidos, traz outro tipo de poluente, o poluente atmosférico, que traz danos à saúde de seres humanos e animais, danos à vegetação, danos ao solo, danos aos materiais, alteração do clima, visibilidade e radiação solar.

Portanto, surge necessária a amostragem frequente dos poluentes atmosféricos emitidos nos processos de queima de resíduos como a biomassa sólida.

2.4.2.1 QUEIMA DE BIOMASSA – CONCEITO E IMPORTÂNCIA

Segundo Landim et al. (2001, *apud* Cieslinski, 2014), a biomassa pode ser considerada como sendo toda a matéria orgânica capaz de, ao ser queimada, decomposta ou reciclada, gerar direta ou indiretamente, alguma forma de energia. Desse modo, resíduos agrícolas, rejeitos animais, dejetos humanos, resíduos urbanos orgânicos, resíduos de plantas como o bagaço de cana, resíduos provenientes dos processos de beneficiamento da madeira e os resíduos do processo da goma resina podem ser utilizados como combustível em queimadores de biomassa.

Segundo Calijuri e Cunha (2013), o reaproveitamento energético pode ser direto ou indireto. No aproveitamento direto, os resíduos são usados diretamente como fonte de energia, podendo passar antes por alguns processos simples de tratamento como fragmentação ou moagem. No aproveitamento indireto, os resíduos são convertidos por via química ou biológica em outros materiais, os quais são empregados como fonte de energia. Idealmente, os resíduos devem ser triturados e secos antes de serem utilizados, o que caracteriza um aproveitamento direto.

Portanto, o reaproveitamento energético dos resíduos da pré-filtragem estudados neste trabalho caracteriza-se como direto, já que a biomassa utilizada (acículas, lascas de tronco e outros sólidos grosseiros) passará apenas por uma secagem natural.

As utilizações da biomassa são diversas, dentre elas destacam-se a geração de energia elétrica, a utilização térmica final e a produção de biocombustíveis e biogás. Na geração de energia elétrica, a biomassa é convertida em eletricidade em centrais de vapor de ciclo simples, por meio de gaseificação ou, ainda, por meio de um processo de biodigestão. Quando empregada para fins térmicos, a biomassa pode ser utilizada como combustível para gerar um fluido térmico de aplicações industriais, por exemplo, na produção de água quente (CALIJURI; CUNHA, 2013).

Segundo Brand (2008, *apud* Cieslinski, 2014), os galhos, serragem, cavacos e maravalha de *Pinus* são muito utilizados como recursos energéticos, as chamadas florestas energéticas.

Assim, espera-se que a queima do resíduo proveniente da pré-filtragem da goma-resina, seja eficaz como cogeneradora industrial, produzindo vapor suficiente para a transformação da goma-resina em breu e terebintina, minimizando os custos da empresa com combustíveis não-renováveis para geração do vapor, além de uma destinação final para o resíduo gerado, visando seu reaproveitamento energético e sem emissão de poluentes atmosféricos danosos ao meio ambiente.

Segundo Sordi et al. (2002, *apud* Menezes, 2013), a biomassa florestal disponível e utilizada pelas indústrias como fonte primária de energia na geração de vapor de processo, provém das espécies de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., podendo ser utilizada pelas indústrias na geração própria de eletricidade e vapor de processo com a utilização de turbinas a vapor (cogeração).

Segundo Gonçalves et al. (2013, *apud* Menezes, 2013), o setor florestal possui diferentes e específicos segmentos, onde o consumo de madeira pode ser realizado de diversas formas. Assim, o resíduo da pré-filtragem que são as acículas, lascas do tronco, cascas, sólidos grosseiros, podem ser utilizados para aproveitamento energético em caldeiras.

Segundo Protássio (2011, *apud* Menezes, 2013), para o aproveitamento racional e adequado dos resíduos florestais, faz-se necessário o estudo de suas propriedades energéticas. O poder calorífico e o teor de umidade são propriedades

de extrema importância para qualificar o uso da biomassa para o aproveitamento energético.

2.4.2.2 QUEIMA DE BIOMASSA – POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Segundo Derisio (2000), o ser humano, ao interagir com o meio em que vive produz resíduos, dos quais uma parte deles causam problemas de poluição do ar. Ainda segundo o mesmo autor, as fontes de poluição podem ser classificadas como fixas ou móveis, sendo as indústrias as fontes fixas mais significativas, e os veículos automotores, trens, aviões e embarcações marinhas as fontes móveis.

Pode-se classificar também os poluentes atmosféricos quanto ao seu estado físico, em materiais particulados e gases. De acordo com Lora (2002), pode-se considerar como material particulado qualquer substância que existe no estado líquido ou sólido na atmosfera, com exceção da água pura, e que tenha dimensões maiores que as moleculares, sendo microscópicas ou submicroscópicas. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2011 *apud* Cieslinski, 2014), os gases podem ser classificados como materiais na forma molecular, como os monóxidos e dióxidos de carbono, dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio entre outros.

Sabe-se que estes poluentes atmosféricos ocasionam danos à saúde e ao meio ambiente. De acordo com Lora (2002), esses efeitos ambientais dependem do tipo e da quantidade de poluentes, da duração, da exposição, do estado de saúde, idade e nível de atividade física da pessoa exposta.

Segundo Arbex et al. (2004), os efeitos à saúde, decorrentes da exposição por longos períodos à fumaça produzida pela queima de biomassa em ambientes fechados, estão associados à doenças respiratórias como infecção aguda em crianças, doença pulmonar obstrutiva crônica, pneumoconiose, catarata e cegueira, tuberculose pulmonar e efeitos adversos na gestação. Ainda segundo o mesmo autor, a fumaça decorrente da queima em ambientes abertos produzem efeitos adversos indiretos, como a redução da fotossíntese, bloqueio dos raios ultravioletas A e B, causando o aumento dos microorganismos patogênicos no ar e na água e há também o aumento das larvas de mosquitos transmissores de doenças.

De acordo com Lora (2002), existem quatro mecanismos de controle ambiental, podendo ser:

- a) análise de custo/benefício, este método considera a diminuição dos custos por danos causados pela poluição ambiental, teoricamente, igualando-se aos custos da introdução de tecnologias de controle de poluição;
- b) impostos ou taxas por emissão de poluentes, também conhecido como “método de incentivos econômicos” ou do “poluidor/pagador”, este por sua vez consiste em estabelecer uma taxa a ser paga por tonelada de diferentes poluentes lançados à atmosfera;
- c) os padrões de emissão, onde realiza-se amostragens e analisa-se a composição dos gases em cada ponto de emissão;
- d) os padrões de qualidade do ar, utilizado para um controle da poluição, este método é de aplicação complexa, pois é necessário determinar as fontes responsáveis pelas maiores emissões;

Segundo Derisio (1992, *apud* Lora, 2002), um padrão de qualidade do ar define legalmente um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico, que garanta a proteção da saúde e do bem-estar das pessoas.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, pela Resolução Nº 3, de 28/6/90, estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar (Tabela 6). Esta Resolução inclui as normas relativas a padrões primários e secundários, sendo os padrões primários, os níveis máximos toleráveis de poluentes atmosféricos, estes quando ultrapassados, podem afetar a saúde humana. Já os padrões secundários, são os níveis desejados de concentração dos poluentes atmosféricos (LORA, 2002).

Tabela 6 – Padrões nacionais de qualidade do ar estabelecidos pelo CONAMA

Poluentes	Tempo de amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão	24 horas (1)	240	150
	MGA (2)	80	60
Dióxido de enxofre	24 horas (1)	365	100
	MGA (3)	80	40
Monóxido de carbono	1 hora (1)	40.000	40.000
		(35 ppm)	(35 ppm)
	8 horas (1)	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
Fumaça	24 horas (1)	150	100
	MGA (3)	60	40
Ozônio	1 hora (1)	160	160
Partículas inaláveis	24 horas (1)	150	150
	MGA (3)	50	50
Dióxido de nitrogênio	1 hora (1)	320	190
	MGA (3)	100	100

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. (2) Média geométrica anual. (3) Média aritmética anual

Fonte: Resolução CONAMA nº 03/90 (LORA, 2002)

Além disso, o CONAMA, pela Resolução Nº 382, de 26/12/2006, define os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão de derivados da madeira para fontes fixas

industriais e de geração de energia elétrica (Tabela 7). Sendo caracterizados como derivados de madeira, a madeira em forma de lenha, cavacos, serragem, pó de lixamento, casca, aglomerado, compensado ou MDF e assemelhados, que não tenham sido tratados com produtos halogenados, revestidos com produtos polimerizados, tintas ou outros revestimentos e que o processo de queima de derivados da madeira é realizado em qualquer forno ou caldeira, cujos produtos de combustão não entram em contato direto com o material ou produto processado.

Tabela 7 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos a partir da combustão de derivados da madeira para fontes fixas industriais e de geração de energia elétrica estabelecidos pelo CONAMA

Poluentes	Potência térmica nominal (MW)	Limite de emissão (mg/Nm³)
Material particulado - MP⁽¹⁾	Menor que 10	730
	Entre 10 e 30	520
	Entre 30 e 70	260
	Maior que 70	130
Óxidos de Nitrogênio - NOx⁽¹⁾	Menor que 10	N.A
	Entre 10 e 30	650
	Entre 30 e 70	650
	Maior que 70	650
Monóxido de Carbono - CO⁽¹⁾	Até 0,05	6500
	Entre 0,05 e 0,15	3250
	Entre 0,15 e 1,0	1700
	Entre 1,0 e 10	1300

⁽¹⁾ os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e corrigidos a 8% de oxigênio.

Potência do queimador utilizado neste trabalho = 0,36MW (menor que 10MW)

N.A. - Não aplicável.

Fonte: Resolução CONAMA nº 382/06

2.4.2.3 ESTUDOS SOBRE A EMISSÃO DE GASES POR QUEIMA DE BIOMASSA

Teixeira (2010), em seu estudo utilizou três tipos de combustíveis de biomassa: a) lamas da Estação de tratamento de águas residuais, b) casca de arroz, c) mistura de casca de Eucalipto e *pellets* de resíduos florestais. Para comparação com o presente trabalho observou-se os resultados obtidos com a mistura de casca de Eucalipto e *pellets* de resíduos florestais, devido o resíduo da pré-filtragem ser caracterizado como resíduo florestal. Seu experimento foi realizado num módulo experimental de combustão composto por três sistemas, o sistema reativo, o sistema de amostragens e análise de gases e o sistema de aquisição de dados. Os sistemas de interesse para o presente trabalho são o sistema reativo e o sistema de amostragem e análise de gases.

O sistema reativo era constituído por um reator de leito fluidizado com 0,25 metros de diâmetro interno e 3 metros de altura, o sistema de alimentação da biomassa encontrava-se localizado na parte superior do reator que possuía dois reservatórios de biomassa e um sistema de dosador por rosca sem fim (Figura 15), que permitia a adição independente e simultânea de dois combustíveis, muito parecido com o sistema de alimentação utilizado no presente trabalho.

Figura 15 – Sistema de alimentação de biomassa



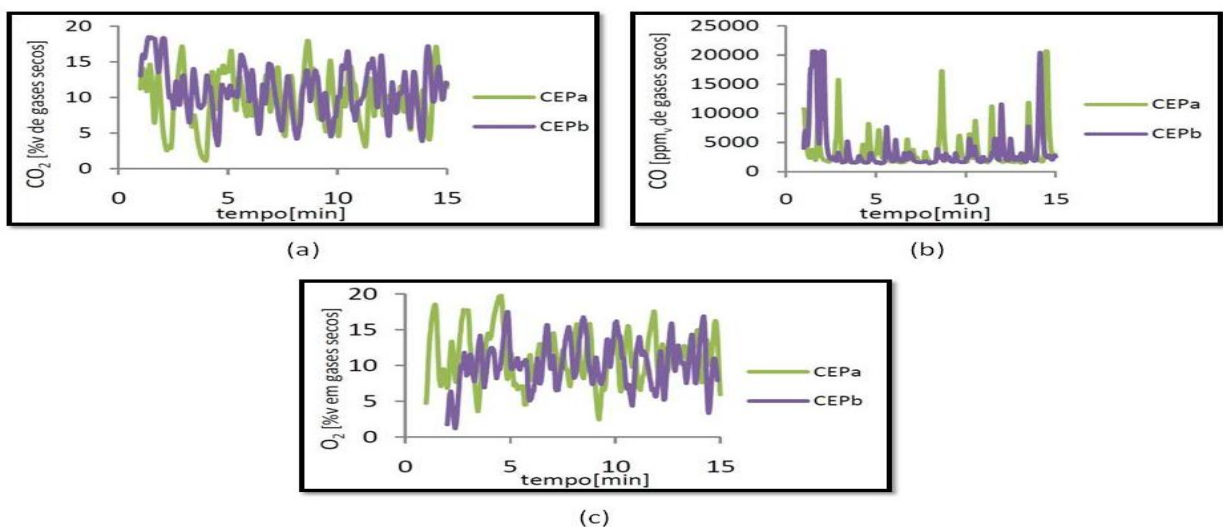
Fonte: Texeira (2010)

O sistema de amostragem e análise de gases era constituído por um conjunto de analisadores automáticos de gás, quatorze termopares, um sensor de

pressão, um conjunto de unidades de controle e distribuição de gás e oito sondas de amostragem de gás de combustão localizadas ao longo do reator. O conjunto de analisadores de gás utilizado por Teixeira (2010) incluía um para O_2 , um para CO_2 e um para CO e uma sonda de zircônio para análise de oxigênio.

Foi realizada a queima da mistura de cascas de Eucalipto com *pellets* de resíduos florestais no reator que operou a uma temperatura na faixa de 750 a 900°C, com um excesso de ar que variou de 25 a 100%. Durante a operação do reator, a temperatura e a pressão foram monitoradas através de oito sondas de amostragens. A amostragem de gases de combustão foi realizada através de uma sonda localizada a 168 cm acima da placa distribuidora e foi analisada a composição dos gases de combustão em termos de CO_2 , CO e O_2 obtendo os resultados mostrados na Figura 16, pode-se verificar que houve grandes variações da composição gasosa, o que está relacionado com a dificuldade em manter uma regularidade na alimentação da casca, apesar da alimentação de *pellets* ser regular. Além disso, as emissões de CO apresentaram-se elevadas, que de acordo com Fernández et al. (2012, *apud* Cieslinski 2014), ocorre provavelmente, devido ao fato de que os *pellets* necessitam de grande quantidade de ar na combustão, ou seja, apresentam baixas taxas de combustão.

Figura 16 – Perfil de concentração de CO_2 (a), CO (b), O_2 (c) durante a experiência de combustão da biomassa de Eucalipto com *pellets* de resíduos florestais



CEPa - Caudal de alimentação casca de Eucalipto: $1,8 \text{ kg.h}^{-1}$

Caudal de alimentação pellets: $0,66 \text{ kg.h}^{-1}$

CEPb - Caudal de alimentação casca de Eucalipto: $1,8 \text{ kg.h}^{-1}$

Caudal de alimentação pellets: $0,99 \text{ kg.h}^{-1}$

Fonte: Teixeira (2010)

Os teores de umidade e os poderes caloríficos superiores das biomassas estudadas por Teixeira (2010) e analisadas neste trabalho encontram-se na Tabela 8, o cálculo do poder calorífico superior foi obtido a partir da Equação de Dulong (Equação 1).

Equação 1 -Equação de Dulong

$$PCS = 8.100 \cdot C + 34.400 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2.500 \cdot S$$

Onde:

PCS = Poder Calorífico Superior em MJ/kg

C = Teor de carbono em kg C/kg combustível

H = Teor de hidrogênio em kg H/kg combustível

O = Teor de oxigênio em kg O/kg combustível

S = Teor de enxofre em kg S/kg combustível

Tabela 8– Características das biomassas utilizadas nos ensaios de combustão, adaptado.

Biomassa	Teor de umidade (%)	PCS (MJ/kg)
Casca de Eucalipto	3,0	19,20
Pellets de Resíduos Florestais	9,0	19,70

Fonte: Teixeira (2010)

Garcia (2010), já citado no item 2.4.1, além de realizar a queima de quatro tipos de *pellets*, também queimou casca de *Pinus* (Ca) do estado do Paraná, cavaco de *Pinus* (Cv), também do estado do Paraná e uma amostra de serragem de Eucalipto (Se) do estado de São Paulo, analisando as emissões dos gases durante a combustão. Os resultados obtidos pela análise de %O₂, %CO₂, CO (ppm), NO (ppm), NO_x (ppm) e teor de umidade encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados médios obtidos na análise dos gases da combustão, adaptado.

Biomassas	Teor de umidade (%massa)	O₂ (%)	CO₂ (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NO_x (ppm)	T gás (°C)
<i>Pellet 1</i>	10,25	19,50	1,40	423	12,00	12,40	160,10
<i>Pellet 2</i>	6,76	19,30	1,60	369	27,70	28,60	179,90
<i>Pellet 3</i>	7,78	19,20	1,70	579	15,70	16,10	187,30
<i>Pellet 4</i>	8,55	18,70	2,10	435	16,00	16,50	185,10
Casca de <i>Pinus (Ca)</i>	19,22	19,90	1,10	1199	12,90	13,10	136,90
Cavaco de <i>Pinus (Cv)</i>	10,76	19,70	1,10	422	9,10	9,50	139,30
Serragem de <i>Eucalipto (Se)</i>	14,24	19,90	1,10	798	5,50	5,20	132,80

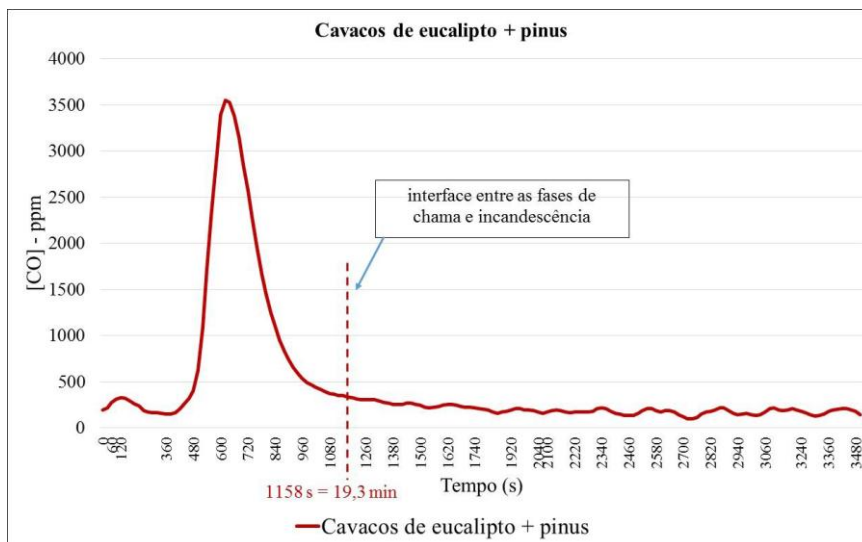
Fonte: Garcia (2010)

Cieslinski (2014) realizou a verificação do teor de umidade e do PCS além de alguns testes de queima com biomassas de bagaço de cana de açúcar, casca de café, casca de arroz e uma mistura de cavaco de Eucalipto e de *Pinus*. Porém, como já citado anteriormente, para fins deste trabalho analisaremos apenas a mistura de cavaco de Eucalipto e de *Pinus* devido às características serem mais semelhantes com a biomassa adquirida na pré-filtragem da goma resina. Os resultados das amostragens de gases durante a combustão obtidos por Cieslinski (2014) estão mostrados nas Figuras 17, 18, 19 e 20 respectivamente.

Na figura 17, observou-se a maior emissão de CO durante a fase de chama, com pico de concentração de 3500 ppm, comportamento não esperado devido, provavelmente, a uma baixa taxa de queima e vazão constante dos gases na chaminé. Além disso, os valores de emissão de CO ultrapassaram os limites de emissão de poluentes atmosféricos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90 apresentado na Tabela 7.

Segundo Rabelo (2003, *apud* Cieslinski 2014), existem três fases durante o processo de combustão, a fase de ignição que é quando ocorre a deposição do calor externo no combustível, forçando o início da combustão, sendo que apenas parte do material é tomado por chama intensa, a fase de chama que é quando ocorre a queima predominante de material volátil e observa-se pontos de chama em quase todo o combustível e a fase de incandescência que é quando não há mais chama, ou seja, quando ocorre a queima propriamente dita e a degradação térmica e carbonização de material virgem, com desenvolvimento de fumaça e brilho visível.

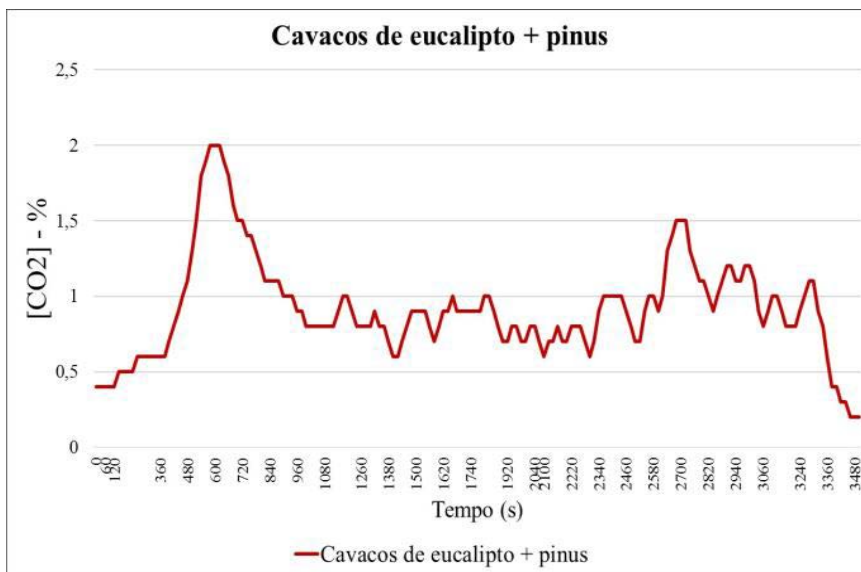
Figura 17 – Resultados de concentração de CO em função do tempo de queima da biomassa da mistura de cavaco de Eucalipto e *Pinus* (TU=14,62% e PCS=17.569J/kg)



Fonte: Cieslinski (2014)

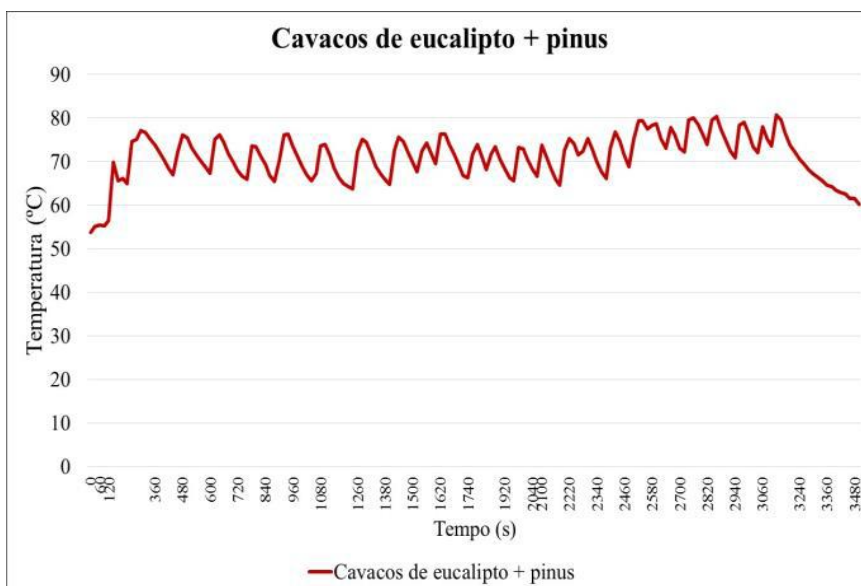
Na Figura 18, observou-se o maior pico de concentração a 2%, na fase de chama. Os picos de concentração de CO₂ estão relacionados a temperaturas mais altas do gás (Figura 19), chamados de picos de temperatura. Além disso, as concentrações de CO₂ foram praticamente constantes, ao longo da queima, assim como as curvas de temperatura (Figura 19).

Figura 18- Resultados de concentração de CO₂ em função do tempo de queima da biomassa da mistura de cavaco de Eucalipto e *Pinus* (TU=14,62% e PCS=17.569J/kg)



Fonte: Cieslinski (2014)

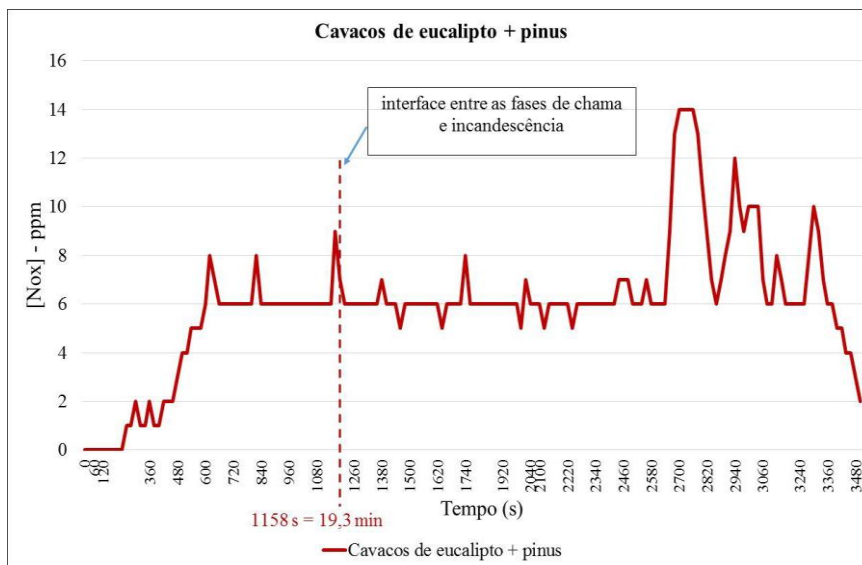
Figura 19 - Resultados de temperatura do gás em função do tempo de queima da biomassa da mistura de cavaco de Eucalipto e *Pinus* (TU=14,62% e PCS=17.569J/kg)



Fonte: Cieslinski (2014)

Na figura 20, observou-se primeiramente uma fase ascendente no início da queima e posteriormente uma fase descendente no final da queima, o que foi semelhante com o estudo de Soares Neto et al. (2011), segundo Cieslinski (2014). Além disso, as emissões de NO_x permaneceram praticamente constantes ao longo da queima.

Figura 20 - Resultados de concentração de NO_x em função do tempo de queima da biomassa da mistura de cavaco de Eucalipto e *Pinus* (TU=14,62% e PCS=17.569J/kg)



Fonte: Cieslinski (2014)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para a determinação do teor de umidade e do poder calorífico superior do resíduo gerado na pré-filtragem da goma resina de *Pinus sp.* e também para a análise dos gases emitidos pela queima desta biomassa.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO DA PRÉ-FILTRAGEM DA GOMA RESINA

As amostras do resíduo sólido da pré-filtragem da goma resina de *Pinus sp.* (Figura 21) foram coletadas na indústria de filtragem de goma resina Resisul Agroflorestal LTDA.

Os resíduos, quando coletados, haviam sido retirados dos cestos do pré-filtro e armazenados numa caçamba e, somente após, aproximadamente, 24 horas foram colocados em sacos plásticos e levados ao Laboratório de Controle Ambiental da UNESP de Itapeva, onde ficaram secando por 15 dias em local seco e em temperatura ambiente, ou seja, passaram por uma secagem natural necessária devido ao alto teor de umidade que esta biomassa apresentou quando chegou na universidade. De acordo com Jenkins et al. (1996, *apud* Garcia 2010) valores muito elevados de teor de umidade podem levar à limitação de voláteis, além de um aumento na formação de monóxido de carbono.

Figura 21 – Amostra do resíduo sólido da pré-filtragem utilizada para realização deste trabalho



Fonte: Própria autoria (2015)

3.1.1 TEOR DE UMIDADE

Para a determinação do teor de umidade as medições foram feitas em duplicata e com valor final calculado a partir da média entre os valores de cada repetição. De acordo com a norma ABNT NBR 14929:2003, pesou-se dois cadinhos vazios em balança analítica, tarou-se a balança, pesou-se, aproximadamente, 1,0g da biomassa em cada cadinho e levou-se à estufa a 103 ± 2 °C, por aproximadamente 24 horas.

Após 24 horas, retirou-se os cadinhos com as amostras de biomassa da estufa com auxílio de uma pinça laboratorial e estes foram acondicionados no dessecador por aproximadamente 5 minutos para que ocorresse seu resfriamento, em seguida, pesou-se os cadinhos com as amostras secas na balança analítica.

Para a realização do cálculo do teor de umidade, em base seca, foi utilizada a Equação 2.

Equação 2 - Teor de Umidade em base seca

$$U(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \cdot 100$$

Onde:

U(%) = teor de umidade em base seca, em %

m_u = massa úmida da amostra de biomassa, em g

m_s = massa seca da amostra de biomassa, em g

3.1.2 PODER CALORÍFICO SUPERIOR

A determinação do poder calorífico superior da biomassa foi realizada num sistema calorimétrico baseado numa bomba calorimétrica (Figura 22), inserida num calorímetro (Figura 23). A análise do PCS foi feita em triplicata com valor final calculado a partir da média entre os valores de cada repetição.

Para o procedimento, pesou-se, aproximadamente, 1,0 g da amostra de biomassa seca e moída, que foi colocada num cadinho de quartzo e posteriormente introduzido na bomba calorimétrica. Em seguida, colocou-se água destilada no reservatório apropriado e introduziu oxigênio a uma pressão de 30 bar. Depois

conectou-se o fio de algodão no fio de níquel presente na bomba calorimétrica e foi vedada a bomba ao ser introduzida na cápsula dentro do calorímetro. Após cerca de 5 minutos, o equipamento disponibilizou a leitura do poder calorífico superior, então retirou-se a bomba calorimétrica e a pressão foi relaxada verificando-se a condensação de água formada com a combustão.

Figura 22 – Bomba calorimétrica



Fonte: Própria autoria (2015)

Figura 23 – Calorímetro



Fonte: Própria autoria (2015)

3.2 AMOSTRAGEM DE GASES

Para realização da amostragem de gases, cada amostra de biomassa foi deixada durante 15 dias para secar em local seco e em temperatura ambiente. Foram realizados dois testes de queima com amostras diferentes, coletadas da mesma forma, de acordo com o item 3.1.

3.2.1 LOCAL E INSTRUMENTO DE AMOSTRAGEM

As amostragens dos gases provenientes da queima da biomassa em estudo foram realizadas no laboratório de controle ambiental da UNESP de Itapeva. Para as queimas utilizou-se um sistema de queima (Figura 24), composto por um alimentador e queimador de biomassa.

Figura 24 – Sistema de queima



Fonte: Própria autoria (2015)

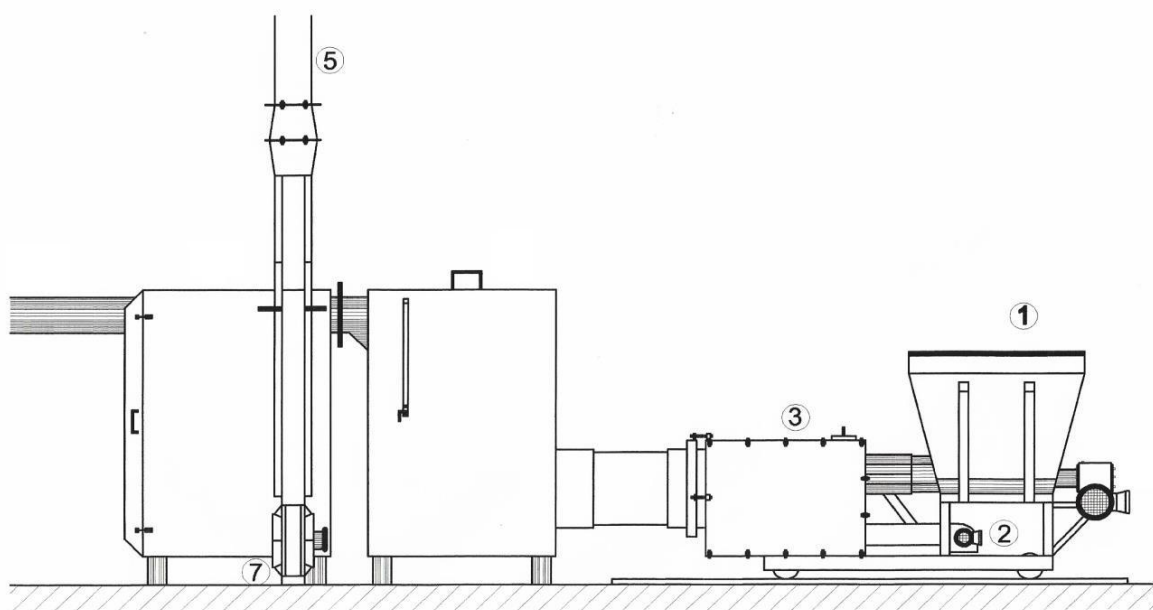
O queimador de biomassa é constituído por um ventilador responsável por manter acesa a chama com temperatura entre 800 a 1200°C e dispersar o fogo para a saída, um sistema de controle de vazão de ar, com objetivo de manter a qualidade da combustão, uma grelha interna que distribui o ar proveniente do ventilador, um

cinzeiro para recolhimento dos resíduos gerados e uma porta para possíveis manutenções. Este equipamento possui 1,3 metros de altura, 0,80 metros de largura, 2,20 metros de comprimento, produção de energia 31500 kcal/h (potência 0,36 MW), consumo de biomassa de 90 kg/h, produção máxima de vapor de 400kg/h e capacidade de armazenamento de biomassa de 0,3 m³

O alimentador é um equipamento que realiza a alimentação da biomassa de forma manual até completar a capacidade máxima e que com o auxílio de uma rosca sem fim, que está acoplada a este equipamento, alimenta o queimador. Portanto o resíduo sólido da pré-filtragem foi alimentado ao queimador através dessa rosca sem fim, fazendo com que toda biomassa fosse completamente consumida pelo queimador e então reabastecida manualmente (alimentação intermitente).

O desenho esquemático do sistema de queima de biomassa está apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Desenho esquemático do sistema de queima de biomassa



Onde:

- 1 – alimentador de biomassa com rosca sem fim acoplada
- 2 – controlador de ar de alimentação
- 3 – queimador de biomassa
- 5 – chaminé
- 7 - soprador

Fonte: Eng. Anderson de Jesus R. Martins

A chaminé foi o local de coleta de dados para análise dos gases com auxílio do analisador eletroquímico portátil UniGas 3000+ da *Eurotron Instruments*, (Figura 26), juntamente com a sonda de amostragem (Figura 27), que foi devidamente inserida na chaminé do queimador, que de acordo com a norma técnica L9.221:1990 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), para chaminés ou dutos de seção circular, deve-se escolher uma seção transversal que fique pelo menos 8 diâmetros internos à jusante e a 2 diâmetros internos à montante de qualquer distúrbio de fluxo como curvas, expansão, contrações, entradas e saídas.

O analisador eletroquímico portátil UniGas 3000+ da *Eurotron Instruments* é um instrumento que realiza a leitura das concentrações de oxigênio (O_2), de monóxido de carbono (CO), de óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de enxofre (SO_2), além das temperaturas do ambiente e do gás na saída da chaminé.

Figura 26 – Analisador eletroquímico portátil UniGas 3000+ da *Eurotron Instruments*



Fonte: Manual do Unigas 3000+

Figura 27 – Sonda de amostragem



Fonte: Manual do Unigas 3000+

Realizaram-se duas queimas de amostras e em dias diferentes, utilizando o mesmo procedimento para coleta de amostra (item 3.1) e de queima para amostragem de gases (item 3.2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas queimas realizadas do resíduo da pré-filtragem da goma resina e também é realizada a discussão dos mesmos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DO RESÍDUO DA PRÉ-FILTRAGEM DA GOMA RESINA

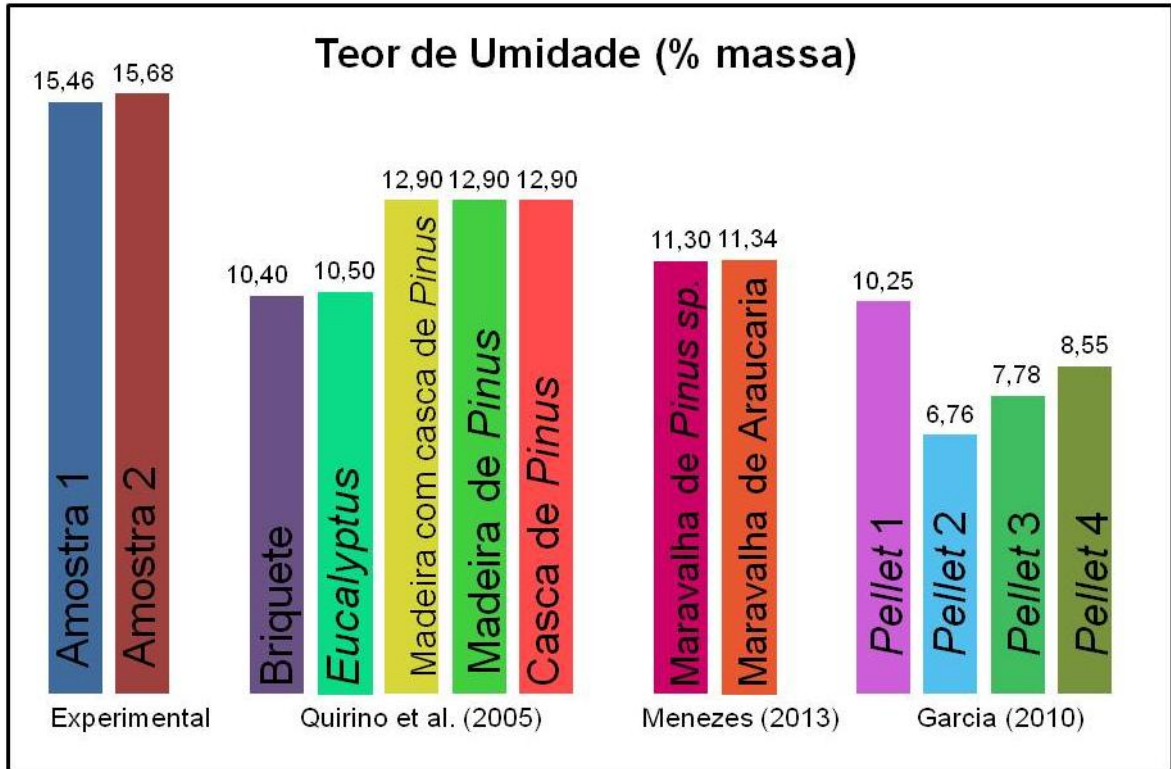
Caracterizou-se o resíduo da pré-filtragem da goma resina a partir do teor de umidade e do poder calorífico. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 10, assim como a sua comparação entre o presente trabalho, os demais citados no item 2.4.1 com dados apresentados nas Tabelas 3 a 5 (Figuras 28 e 29).

Tabela 10 – Teor de umidade e poder calorífico para este trabalho

Resíduo da pré-filtragem	Teor de umidade (%)	PCS (kJ/kg)
Amostra 1	15,46	25787
Amostra 2	15,68	25935

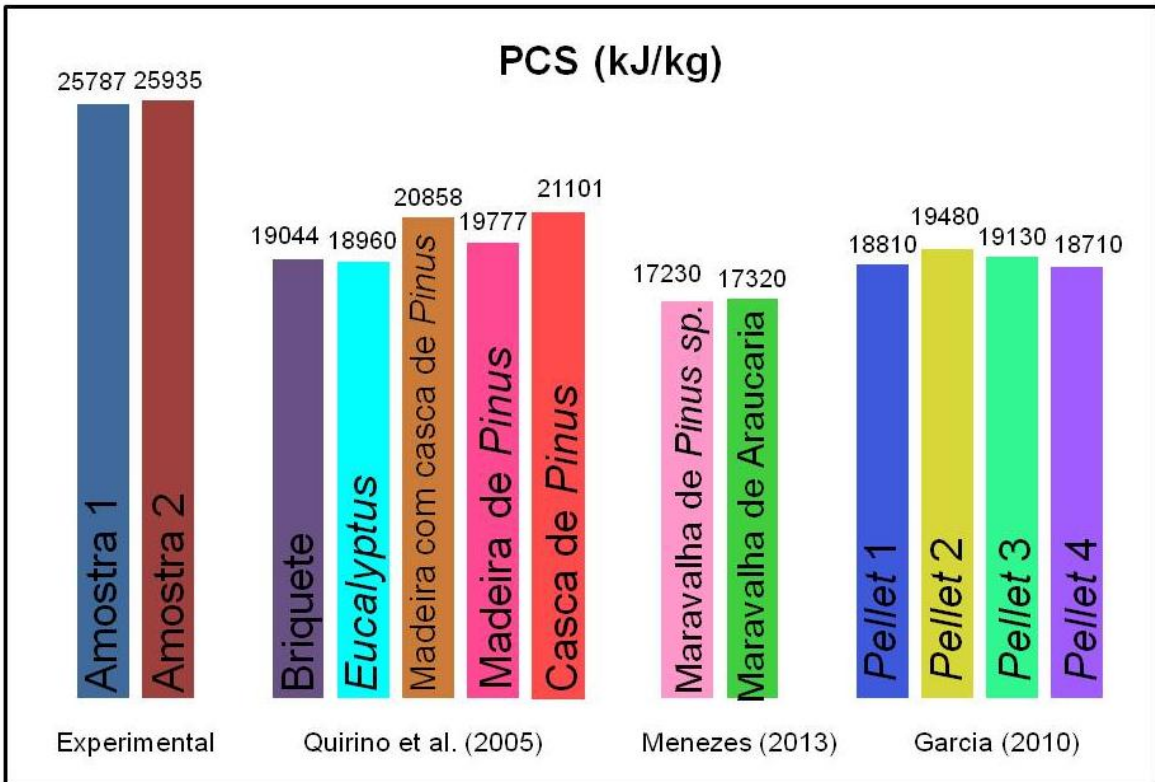
Fonte: Resultados experimentais obtidos neste trabalho

Figura 28 – Teor de umidade deste trabalho com resultados de outros autores



Fonte: Resultados experimentais obtidos neste trabalho e outros autores

Figura 29 - Poder Calorífico Superior deste trabalho com resultados de outros autores



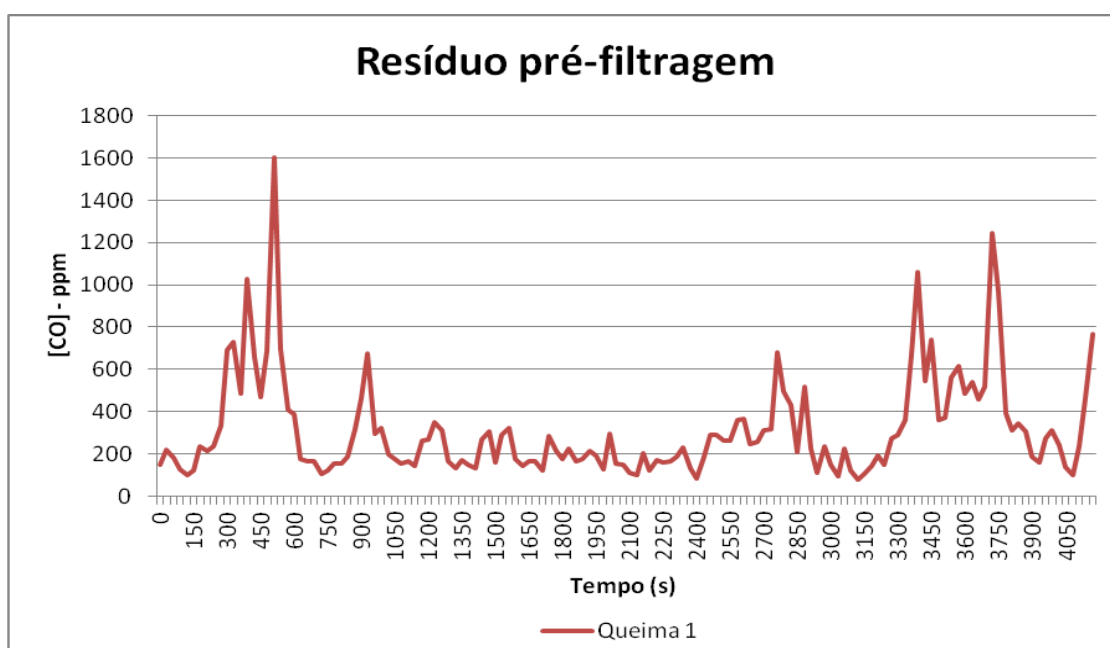
Fonte: Resultados experimentais obtidos neste trabalho e outros autores

A partir das Figuras 28 e 29, observou-se que os resultados de teores de umidade obtidos neste trabalho foram maiores que os encontrados pelos autores citados e, de acordo com o item 2.4.1, o poder calorífico é inversamente proporcional ao teor de umidade, e, portanto, esperava-se que os resultados de poder calorífico superior fossem inferiores aos dos autores citados, porém, como também citado no item 2.4.1, o poder calorífico também varia de acordo com a quantidade de compostos orgânicos (voláteis) presentes na amostra da biomassa, o que provavelmente explicaria o fato de os resultados de poder calorífico superior encontrado neste trabalho serem maiores mesmo tendo teores de umidade maiores que os dos autores citados.

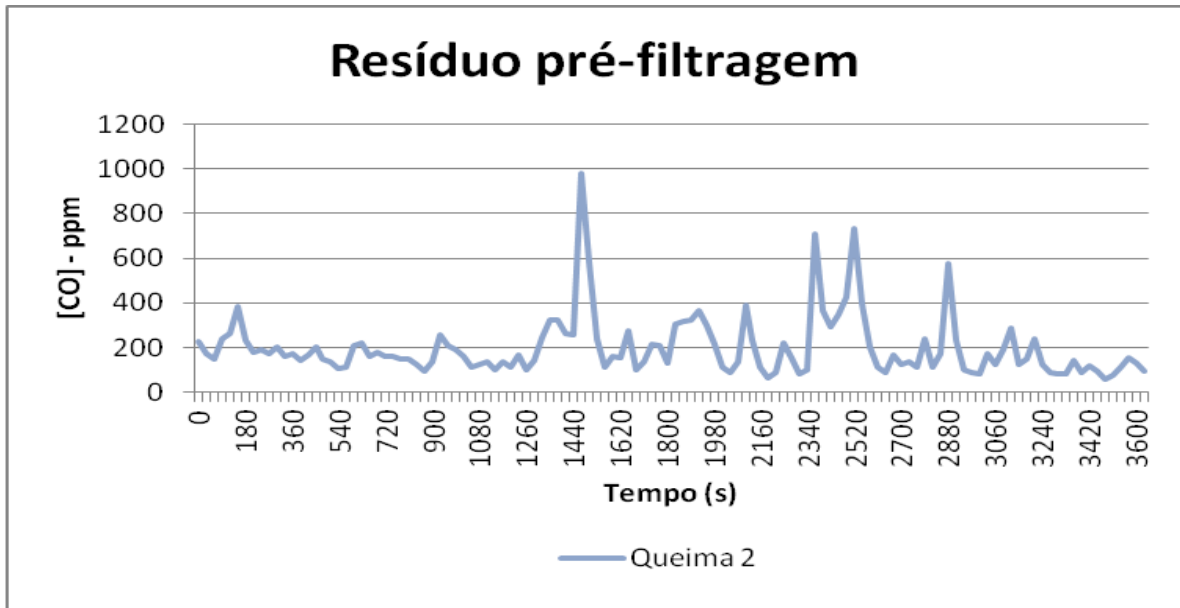
4.2 QUEIMA DA BIOMASSA – POLUENTES ATMOSFÉRICOS

As Figuras 30 a 34 mostram as concentrações de CO (ppm), NO_x (ppm), SO₂ (ppm) e CO₂ (ppm) emitidos com a queima do resíduo da pré-filtragem da goma resina. As queimas 1 e 2 foram realizadas com as amostras 1 e 2, respectivamente, e as condições da biomassa, como teor de umidade e poder calorífico superior das mesmas estão descritas na Tabela 10.

Figura 30 – Concentrações de CO em função do tempo de queima. (a) Queima 1; (b) Queima 2



(a)



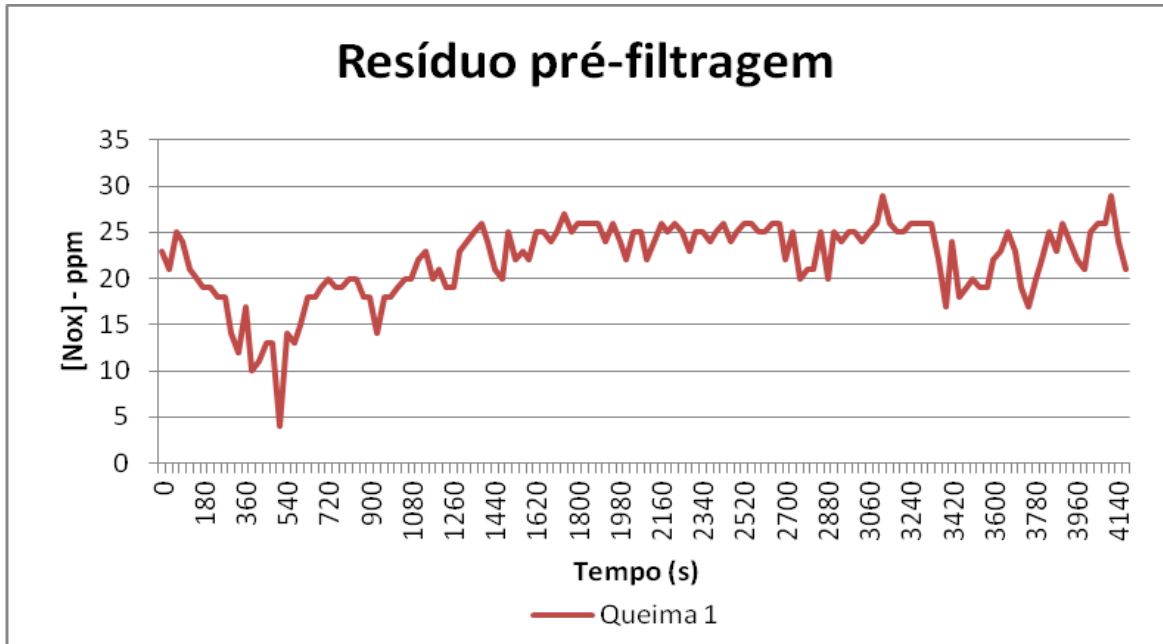
(b)

Fonte: Resultados experimentais de concentrações de CO em função do tempo das duas queimas efetuadas

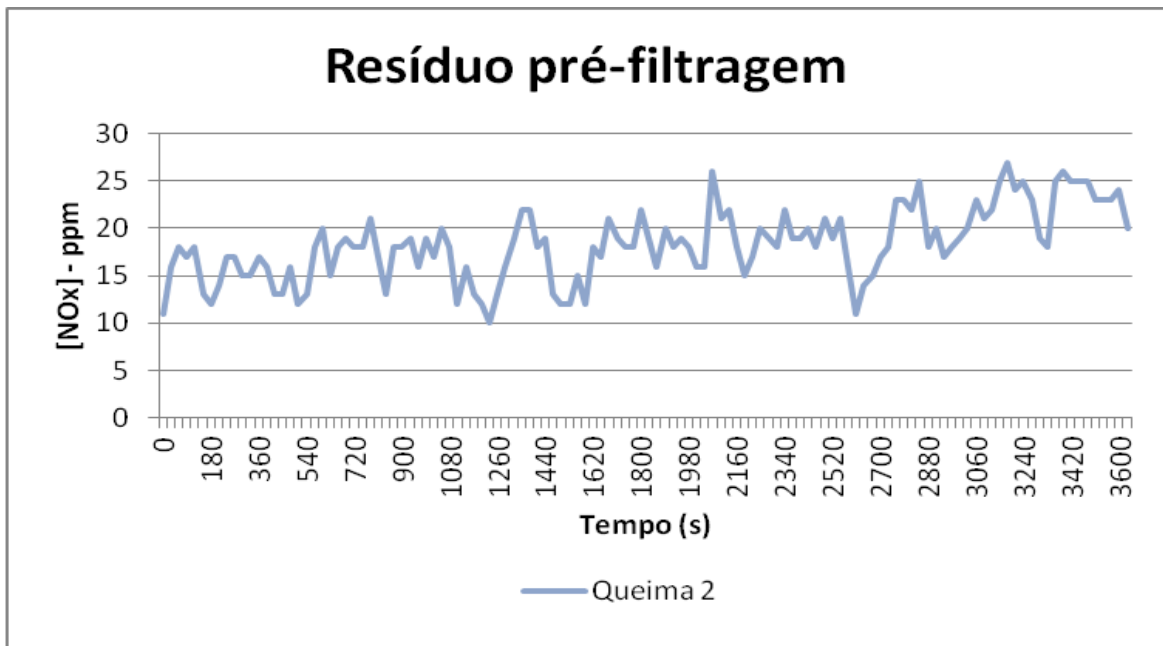
Através da Figura 30, observa-se a máxima concentração de CO, para a queima 1 de 1603 ppm no tempo 540 s e para a queima 2 de 981 ppm no tempo de 1470 s. Cieslinski (2014) obteve um pico de concentração de CO na fase de chama (em torno de 700 s de queima), o comportamento apresentado pelo gráfico de Cieslinski (2014) se mostrou muito próximo ao comportamento do gráfico da queima do resíduo da pré-filtragem, o que provavelmente se explique, segundo Soares Neto et al. (2011 *apud* Cieslinski, 2014), devido à baixa taxa de queima e vazão constante dos gases na chaminé. Garcia (2010), obteve como sua maior média de emissão de CO para a queima de casca de *Pinus* com valor de 1199 ppm.

De acordo com as Resoluções estabelecidas pelo CONAMA as duas queimas realizadas neste trabalho ultrapassaram os padrões estabelecidos pelo órgão, sendo que os limites estabelecidos para emissões de poluentes pela Resolução nº 382/06 para queimadores com potência térmica entre 0,15 e 1,0 MW é de 1,7 ppm e os padrões primário e secundário de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução nº 03/90, são de 35 ppm para 1 hora de queima.

Figura 31 – Concentrações de NO_x em função do tempo de queima. (a) Queima 1; (b) Queima 2



(a)



(b)

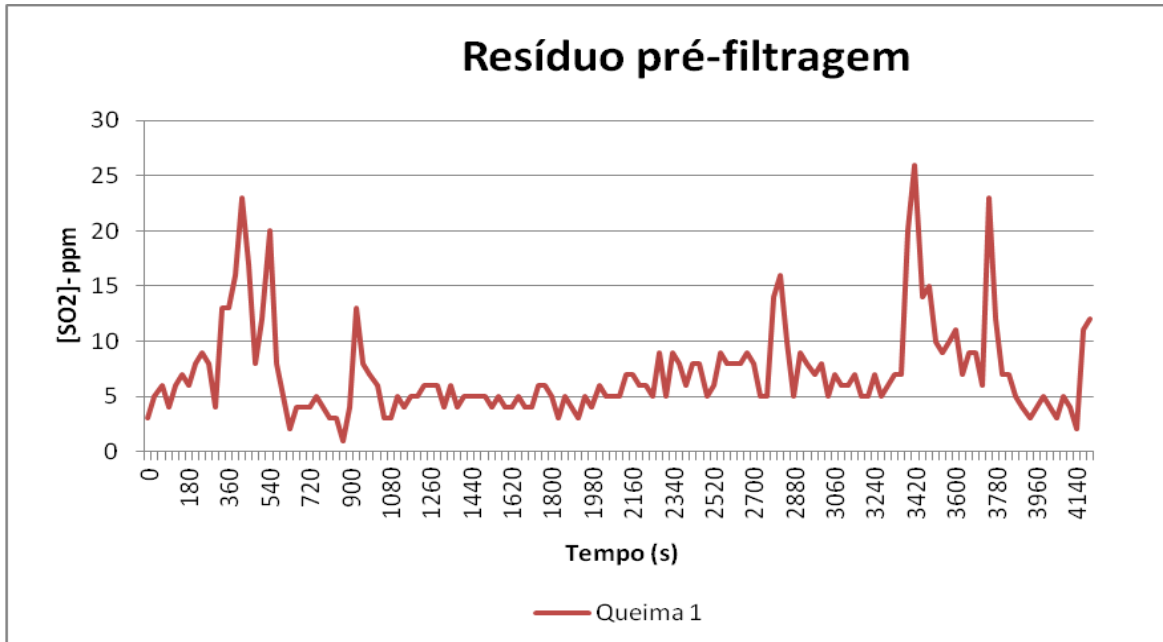
Fonte: Resultados experimentais de concentrações de NO_x em função do tempo das duas queimas efetuadas

De acordo com a Figura 31, pode-se observar que o valor máximo de concentração de NO_x na queima 1 foi de 29 ppm em dois momentos: 3150 s e 4140 s de queima, já na queima 2 o valor máximo foi de 27 ppm em 3180 s de queima.

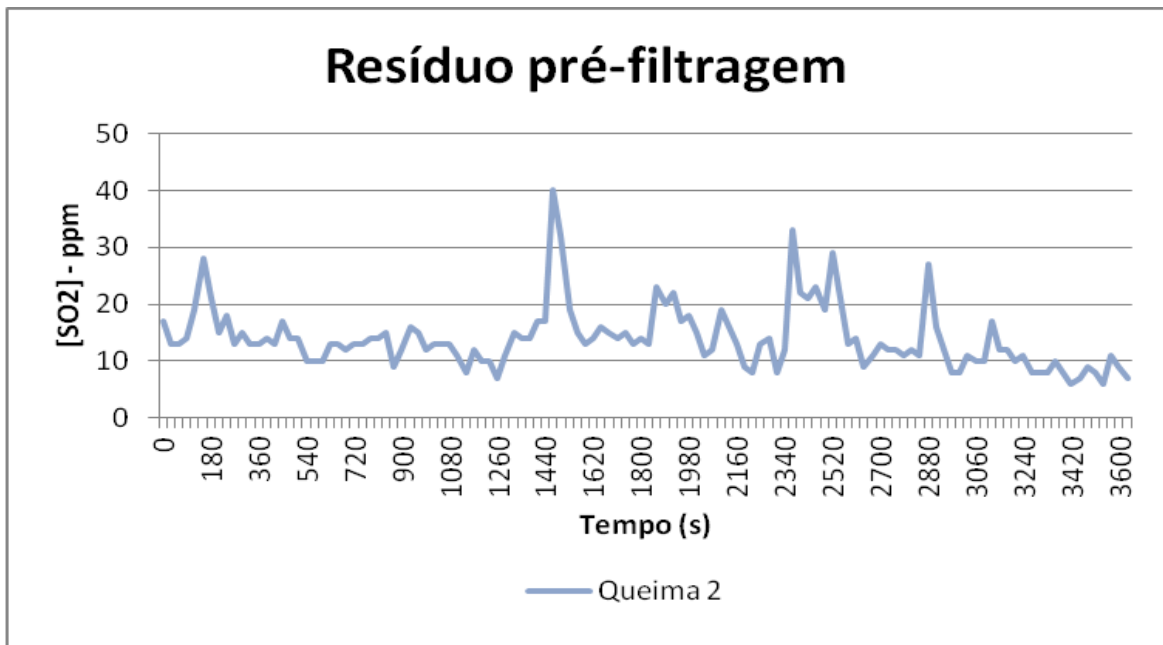
Cieslinski (2014) em sua queima obteve um pico máximo de concentração de NO_x no valor de 14 ppm e Garcia (2010) obteve como sua maior média de

emissão de NO_x a queima do *pellet* 2, com valor de 28,60 ppm, o que se parece mais com o presente trabalho do que observado por Cieslinski (2014).

Figura 32 – Concentrações de SO_2 em função do tempo de queima. (a) Queima 1; (b) Queima 2



(a)



(b)

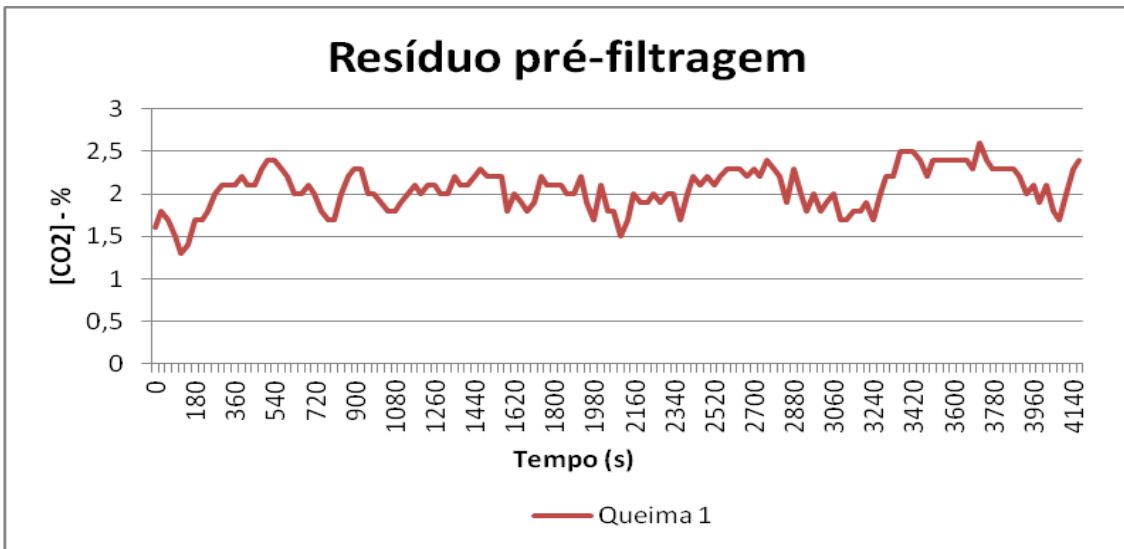
Fonte: Resultados experimentais de concentrações de SO_2 em função do tempo das duas queimas efetuadas

A Figura 32, mostra as concentrações de SO_2 obtidas pelas queimas 1 e 2, a máxima concentração de SO_2 obtida pela queima 1 foi de 26 ppm no tempo de

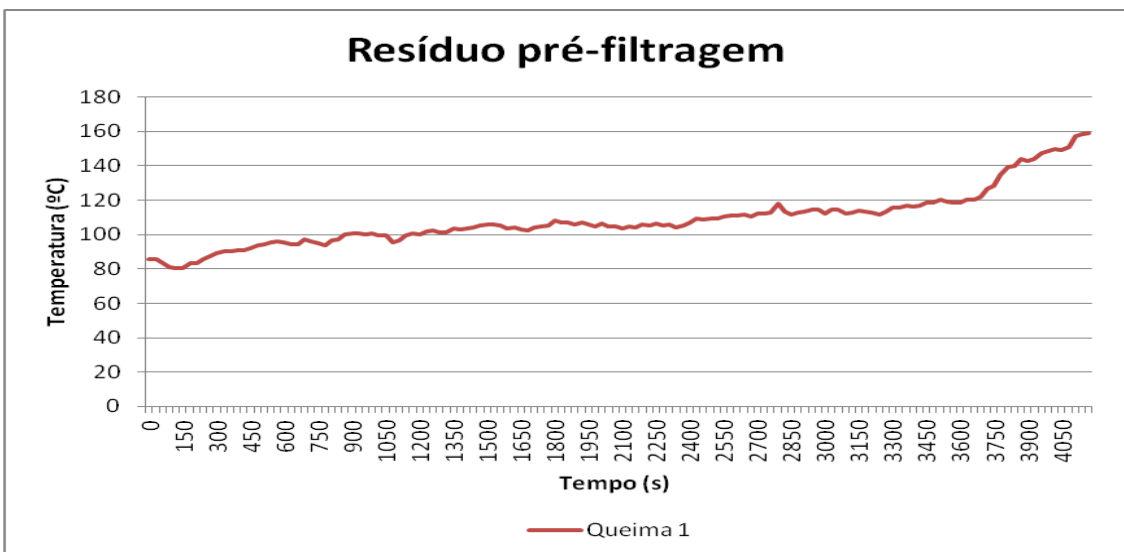
3420 s, já na queima 2 obteve-se o valor de 40 ppm como máxima concentração de SO_2 no tempo de 1470 s de queima.

De acordo com a Resolução CONAMA nº03/90, os valores obtidos pelas queimas, estão acima dos padrões nacionais de qualidade do ar, já que o limite máximo (padrão primário) para emissão de SO_2 é de $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que corresponde a aproximadamente 0,35 ppm e o limite desejável (padrão secundário) para emissão de SO_2 é de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que é aproximadamente 0,09 ppm para 24 horas de queima.

Figura 33 – (a) Concentrações de CO_2 em função do tempo de queima (b) Temperatura do gás em função do tempo



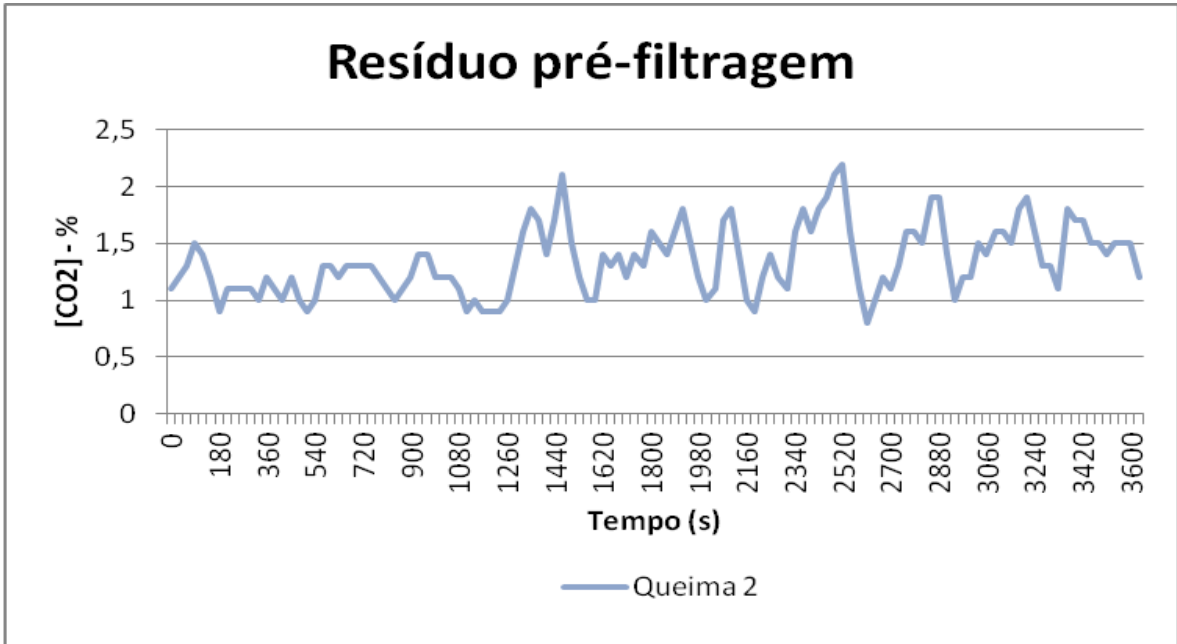
(a)



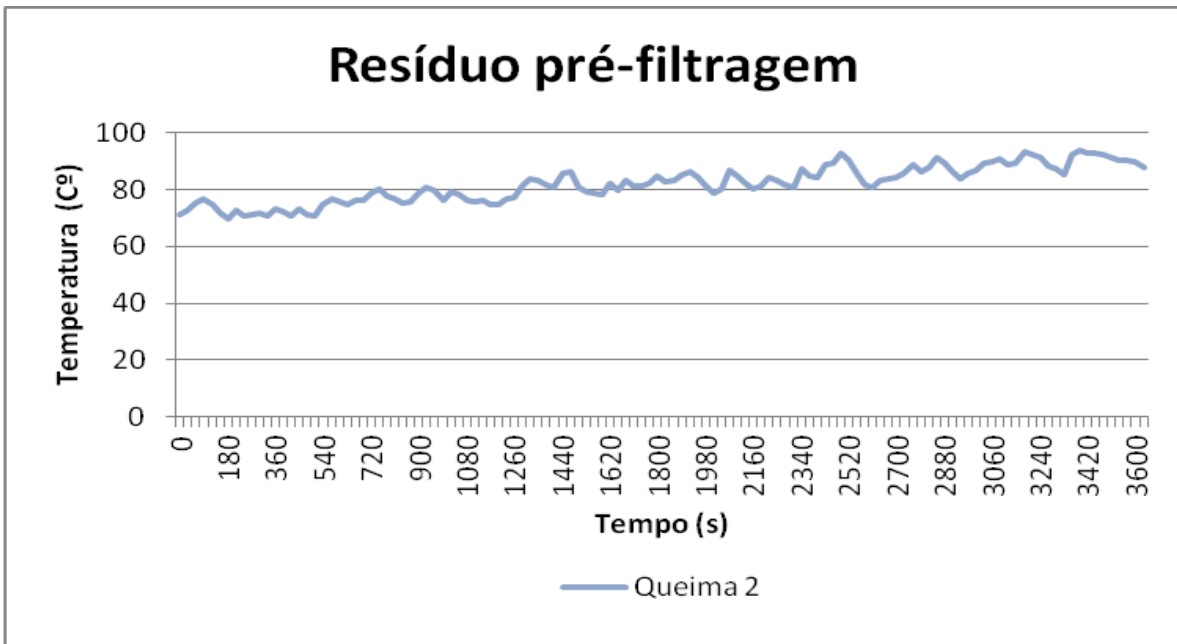
(b)

Fonte: Resultados experimentais de concentrações de CO_2 e temperatura em função do tempo da queima 1

Figura 34 – (a) Concentrações de CO₂ em função do tempo de queima (b) Temperatura do gás em função do tempo



(a)



(b)

Fonte: Resultados experimentais de concentrações de CO₂ e temperatura em função do tempo da queima 2

Com base nas Figuras 33 e 34, verifica-se que as emissões de CO₂ estão diretamente relacionadas às temperaturas do gás, pois observa-se que as concentrações mais elevadas de CO₂ estão relacionadas às temperaturas mais altas

do gás em relação ao tempo, como Cieslinski (2014) também observou em seu trabalho.

Para queima 1, mostrada na Figura 33, houve um pico de concentração de CO₂ no valor de 2,6% e para queima 2, mostrada pela Figura 34, observou-se um pico de 2,2%, valores muito próximos ao valor obtido por Cieslinski (2014) de 2% e por Garcia (2010) de 2,1% para o *pellet 4*.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho e a partir das discussões realizadas no item anterior, pode-se concluir que:

1) Caracterização energética do resíduo da pré-filtragem

- Observou-se que o poder calorífico superior do resíduo em questão mostrou-se superior aos dos autores estudados, isso deve-se, provavelmente, pela alta quantidade de compostos orgânicos presentes em tal resíduo;

2) Emissão de poluentes atmosféricos das queimas do resíduo

- As emissões de CO nas duas queimas realizadas obtiveram picos que ultrapassaram os limites especificados pela CONAMA Resolução nº 382/06, e também ultrapassaram os padrões primários e secundários de qualidade do ar estabelecidos pela CONAMA Resolução nº 03/90;

- Na queima 1, ou seja, da amostra 1 do resíduo, observou-se dois picos de concentração de NO_x no valor de 29 ppm em tempos diferentes e na queima 2 houve apenas um pico de valor próximo ao da queima 1, no valor de 27 ppm;

- As emissões de SO₂ ultrapassaram os valores especificados pela CONAMA Resolução nº 03/90, tanto em seus padrões primários quanto em seus padrões secundários;

- As curvas de emissão de CO₂ obtiveram similaridade com as curvas de temperatura, a queima 1 obteve um pico de 2,6% e a queima 2 obteve um pico de 2,2%, igualando-se, praticamente, com os picos obtidos pelos autores estudados;

Desta forma entende-se que o resíduo estudado, possui viabilidade em relação a parte energética estudada, já que apresentou altos valores de poder calorífico superior, entretanto é de extrema importância realizar o controle de emissões de gases, já que os valores apresentados pelo presente estudo estão acima dos permitidos pelos padrões ambientais. O controle de emissões de gases pode ser controlado com equipamentos como lavador de gás tipo Venturi, por exemplo.

REFERÊNCIAS

ARBEX, Marcos Abdo et al. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. São Paulo, p. 158-175. abr. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v30n2/v30n2a15>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

BRAND, Martha Andreia. Resíduos: Contribuição dos resíduos de *Pinus* para a geração de energia na região sul do Brasil; Uso de resíduos de madeira para a geração de energia; A madeira de *Pinus* e a geração de energia. **Remade: Revista da Madeira**, Lages, 83 ed., ago. 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=617&subject=Res%EDduos&title=Contribui%E7%E3o%20dos%20res%EDduos%20de%20pinus%20para%20a%20gera%E7%E3o%20de%20energia%20na%20regi%E3o%20sul%20do%20Brasil>. Acesso em: 15 maio 2015.

CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 789 p.

CENDOFANTI, Ana Claudia. **MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE UM PROCESSO DE CARVÃO ATIVADO E DE GOMA RESINA**. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/103-Ana_Claudia_Cendofanti.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2015.

CETESB. **L9.221: Dutos e chaminés de fontes estacionárias. Determinação dos pontos de amostragem**, 1990.

CIESLINSKI, Juliana Esteves Fernandes. **Estudo da emissão e do controle dos gases particulados provenientes da queima de biomassa**. 2014. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Área de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2014.

CONAMA. **Resolução Conama nº 382/06: Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas**, 2006.

COUTO, Allan Motta et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p.113-122, abr/jun. 2011. Trimestral. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/200/211>>. Acesso em: 13 jul. 2015.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Signus Editora, 2000. 164 p.

GARCIA, Dorival Pinheiro. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzido no Brasil**. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Materiais Compósitos Lignocelulósicos, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2010. Disponível em: <<http://www.itapeva.unesp.br/Home/Pos->

graduacao/EngenhariaMecanica/Garcia_dp_me_guara_prot.pdf>. Acesso em: 19 set. 2015.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (São Paulo). Indústrias Químicas Carbomafra S.A.. **O *Pinus elliotii*: A GOMA RESINA E SEUS DERIVADOS**. SEMINÁRIO: “Resina de *Pinus* Implantados no Brasil”, Piracicaba, n. 38, p.1-22, 12 maio 1978. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr038.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

LORA, Electo Eduardo Silva. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energéticos, Industrial e de Transporte**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. 481 p.

MENEZES, Marta Juliana Schmatz. **PODER CALORÍFICO E ANÁLISE IMEDIATA DA MARAVALHA DE PINUS (*Pinus* sp.) E ARAUCÁRIA (*Araucaria angustifolia*) DE REFLORESTAMENTO COMO RESÍDUOS DE MADEIREIRA**. 2013. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Cascavel, 2013. Disponível em: <http://200.201.88.199/portalpos/media/Dissertacao_Marta_J_S_Menezes.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2015.

NEVES, Generci Assis et al. **ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA EXPLORAÇÃO DE PINUS RESINÍFERO EM PEQUENOS MÓDULOS RURAIS**. 2001. 48 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Agribusiness, Pensa - Programa de Estudos dos Negócios do Sistema Agroindustrial (USP), Sorocaba, 2001. Disponível em: <<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/neves,ga.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2015.

NEVES, Generci Assis et al. Resinas: Aproveitamento do pinus resinoso. **Remade: Revista da Madeira**, Sorocaba, 99 ed., set. 2006. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=964&subject=Resinas&title=Aproveitamento do pinus resinoso](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=964&subject=Resinas&title=Aproveitamento%20do%20pinus%20resinoso)>. Acesso em: 12 maio 2015.

ORTOLAN, Claudio et al. **Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal**. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 14., 2006, Curitiba. Seminário. Curitiba: J. R. Malinovski, C. M. C. Corrêa, T. B. Baggio e J. da S. Alves., 2006. p. 133 – 144. Disponível em: <[http://bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/13170/Texto_Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal .pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/13170/Texto_Aproveitamento%20da%20biomassa%20residual%20de%20colheita%20florestal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

QUIRINO, Waldir F. et al. **PODER CALORÍFICO DA MADEIRA E DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS**. **Remade: Revista da Madeira**, 89 ed., p.100-106, abr. 2005. Disponível em: <<http://www.funtec.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

TEIXEIRA, Elisabete Rodrigues. **Propriedades de leitos usados na combustão de biomassa em leito fluidizado**. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia do Ambiente, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010. Disponível em: <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/3727/1/Formato_Tese_Elisabete.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.