



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Itapeva

VANESSA FERREIRA NEVES

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PODA, AMOSTRAGEM DE
POLUENTES ADVINDOS DE SUA QUEIMA E EFICIÊNCIA DE
COMBUSTÃO**

Itapeva - SP
2018

VANESSA FERREIRA NEVES

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PODA, AMOSTRAGEM DE
POLUENTES ADVINDOS DE SUA QUEIMA E EFICIÊNCIA DE
COMBUSTÃO**

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.

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

Itapeva - SP
2018

N518c	Neves, Vanessa Ferreira Caracterização de resíduos de poda, amostragem de poluentes advindos de sua queima e eficiência de combustão / Vanessa Ferreira Neves. -- Itapeva, 2018 57 f. : il., tabs. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus Experimental de Itapeva, Itapeva Orientadora: Juliana Esteves Fernandes Cieslinski 1. Energia - Fontes alternativas. 2. Resíduos sólidos. 3. Biocombustíveis. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Câmpus Experimental de Itapeva. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

VANESSA FERREIRA NEVES

**RECICLAGEM ENERGÉTICA E EFICIÊNCIA DA COMBUSTÃO DE
RESÍDUOS DE PODA**

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: _____
Profª. Drª. Juliana Esteves Fernandes Cieslinski
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

2º Examinador: _____
Profª. Drª. Elen Aparecida Martines Morales
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

3º Examinador: _____
Prof. Dr. Carlos Manuel Romero Luna
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Experimental de Itapeva.

Itapeva, 11 de junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, porque sem ele eu não chegaria aqui, a toda minha família que sempre me apoiaram, me incentivando a estudar a chegar aqui.

Agradeço ao meu namorado Elder que desde o começo de tudo sempre foi e será muito importante, pelas ajudas nas queimas, pelas ajudas nos gráficos, pela motivação nas horas que eu tinha vontade de desistir, pelo incentivo, admiro demais a sua garra a sua determinação e dedicação, obrigada demais por sempre estar ao meu lado.

Agradeço a todos os meus amigos que sempre me apoiaram e incentivaram: Maria Camila, Thais, Bárbara, Carol, Camile, Katiane, Carine, e todos os outros, estes que mesmo de forma discreta estão comigo desde o começo também.

Agradeço a minha Orientadora Juliana, que me ajudou muito em tudo que eu precisei, sempre me cobrando e exigindo o melhor de mim.

Agradeço aos técnicos: Juscelino, Franco, Anderson e Brito, que também sempre se dispuseram a me dar qualquer ajuda que eu pedia.

Agradeço ao PET, a professora Juliana Cortez, que também entendeu as vezes de não poder comparecer em algum compromisso do PET devido a dedicação ao TCC, agora a professora Maristela.

Agradeço a UNESP, pela disposição de equipamentos para a realização dos procedimentos.

Agradeço ao destino por ter-me feito nascer pobre. A pobreza foi-me uma amiga benfazeja; ensinou-me o preço verdadeiro dos bens úteis à vida, que sem ela não teria conhecido. Evitando-me o peso do luxo, devotou-me à arte e à beleza.

“Se A é o sucesso, então A é igual a X mais Y mais Z. O trabalho é X; Y é o lazer; e Z é manter a boca fechada”.

Albert Einstein

RESUMO

Como os resíduos de poda urbana são quase em sua totalidade destinados a aterros sanitários, juntamente com todos os outros resíduos, surge a preocupação ambiental com os possíveis produtos advindos do contato entre eles e, também, com o fim precoce da vida útil dos aterros devido aos grandes espaços ocupados pelos resíduos volumosos de poda. Uma solução satisfatória e ambientalmente aceitável para tais resíduos seria a utilização como combustível, ou seja, para fins energéticos. Esse projeto, portanto, teve como objetivo caracterizar o resíduo de poda para posterior utilização como combustível. Para tanto, foi realizada a caracterização química dos resíduos de poda obtidos no Campus Experimental de Itapeva (UNESP) através da análise química imediata, o poder calorífico da biomassa (PCS); do teor de materiais voláteis (71,11%), fração que expressa a facilidade de ignição e queima do combustível e influi muito no perfil de escoamento gasoso no forno e na velocidade química da reação, ou seja, tem papel importante nas etapas iniciais de combustão da biomassa; do teor de cinzas (5,71%), teor que demonstra os resíduos provenientes da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos e podem influenciar negativamente no PCS. Por cálculo determinou-se o teor de carbono fixo (23,18%), que é massa restante após a liberação dos compostos voláteis excluindo as cinzas e o teor de umidade. Além da caracterização química faz-se necessária a caracterização energética de um combustível e, com isso, os resíduos em questão foram analisados em calorímetro para obtenção do poder calorífico superior (PCS). Os resultados mostram que foi de 17013 J/g (para o teor de umidade de aproximadamente 16%). Sequencialmente, realizou-se a análise química da parede celular da biomassa como teor de extrativos (13,80%), teor de lignina (36,27%), teor de holocelulose (49,93%). Devido a essas últimas características os resíduos de poda podem ser definidos como resíduos florestais ou até mesmo resíduos ligno-celulósicos. E por fim o resíduo de poda possui um grande potencial energético para adentrar como fonte de energia alternativa, porém ainda é necessário muito estudo acima de cada resíduo de poda específico, porque alguns aglomerados são mais potencializados do que outro.

Palavras-chave: Aproveitamento Energético. Resíduos de Poda. Combustão.

ABSTRACT

As urban pruning waste is almost entirely destined for landfills along with all other wastes, there is an environmental concern with the possible products coming from the contact between them and with the early termination of the life of the landfill due to large spaces occupied by bulky pruning waste. A satisfactory and environmentally acceptable solution for such waste would be the use as a fuel, i.e. for energy purposes. This project, therefore, had as objective to characterize the pruning residue for later use as biomass fuel in direct burning. The chemical characterization of the pruning residues obtained at the Itapeva Experimental Campus (UNESP) was carried out by means of the immediate chemical analysis with the determination of the average moisture content (12.03%), to characterize these characteristics. its direct relation with the calorific value of biomass (PCS); (71.11%), a fraction that expresses the ease of ignition and burning of the fuel and greatly influences the gaseous flow profile in the furnace and the chemical reaction rate, that is, it plays an important role in the initial stages of combustion of biomass; of the ash content (5.71%), which shows the residues coming from the combustion of the organic components and oxidation of the inorganics and can negatively influence the PCS. By calculation, the fixed carbon content (23.18%) was determined, which is the remaining mass after the release of the volatile compounds excluding the ash and the moisture content. In addition to the chemical characterization, it is necessary to characterize the energy of a fuel and, with that, the residues in question were analyzed in calorimeter to obtain the superior calorific value (PCS). The mean value found was 17013 J / g (to the moisture content of approximately 16%). Sequentially, the chemical analysis of the cell wall of the biomass was carried out as extractive content (13.80%), lignin content (36.27%), and holocellulose content (49.93%). Due to these latter characteristics, pruning residues can be defined as forest residues or even lignocellulosic residues. Finally, the pruning residue has a great energetic potential to enter as an alternative source of energy, but a lot of study is still necessary above each specific pruning residue, because some clusters are more potentiated than others are.

Keywords: Energy Utilization. Pruning Waste. Combustion Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estimativa da massa (tonelada) mensal de resíduos de arborização em municípios do estado de São Paulo	21
Figura 2. Teor de Cinzas vs Poder Calorífico Superior	27
Figura 3. Influência do teor de extrativos no PCS	28
Figura 4. (a) Moinho Wiley (b) Peneiras	32
Figura 5 Cadinho utilizado para o teste	32
Figura 6 Cadinhos na porta da mufla	34
Figura 7. Balão inserido no condensador da bateria de extração	36
Figura 8. Bomba Calorimétrica	38
Figura 9. Calorímetro	39
Figura 10. Desenho Esquemático	40
Figura 11. Amostrador de Gases UniGas 3000+ (a) e sonda de amostragem (b)	41
Figura 12. Concentração de CO em função do Tempo - 1ª Queima	47
Figura 13. Concentração de CO em função do Tempo - 2ª Queima	47
Figura 14. Concentração de CO em função do Tempo - 3ª Queima	48
Figura 15. Temperatura e CO ₂ em função do tempo - 1ª queima	49
Figura 16. Temperatura e CO ₂ em função do tempo - 2ª queima	49
Figura 17. Temperatura e CO ₂ em função do tempo - 3ª queima	50
Figura 18. Eficiência pontual - 1ª queima	51
Figura 19. Eficiência pontual - 2ª queima	51
Figura 20. Eficiência pontual - 3ª queima	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Municípios Paulistas Amostrados – IBGE (2008).....	21
Tabela 2. Resultados dos Ensaios de Análise Imediata e Poder Calorífico	23
Tabela 3. Análise Imediata da Mistura de Peroba e Garapeira	24
Tabela 4. Caracterização físico-químicas das biomassas.....	24
Tabela 5. Médias das variáveis obtidas para as 5 espécies estudadas	25
Tabela 6. Análise química dos Resíduos analisados	26
Tabela 7. Poder calorífico superior das principais espécies florestais de Portugal ...	27
Tabela 8. Valores médios para o PCS, dos resíduos em estudo	28
Tabela 9. Comparação de resultados obtidos com os presentes na literatura.....	42
Tabela 10. Resultados obtidos na análise da composição da parede celular	44
Tabela 11. PCS obtido e observados na literatura	45
Tabela 12. Análises preliminares as queimas	46
Tabela 13. Eficiência global das queimas	51
Tabela 14. Eficiência por fase	52

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL- Agência Nacional De Energia Elétrica
ASTM- American Society for Testing and Materials
CDR- Combustíveis Derivados de Resíduos
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CF- Carbono fixo
CZ- Teor de Cinzas
EC- Eficiência de Combustão
EPA - Environmental Protection Agency
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MV- Materiais Voláteis
NBR- Norma Brasileira
PCI- Poder Calorífico Inferior
PCS- Poder Calorífico Superior
PMF – Prefeitura Municipal De Florianópolis
PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos
UNESP – Universidade Estadual Paulista
TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry
TE- Teor de Extrativos
TH – Teor de Holocelulose
TLI- Teor de Lignina Insolúvel
TLS- Teor de Lignina Solúvel
TL- Teor de Lignina Total
TU- Teor de Umidade

LISTA DE SÍMBOLOS

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

COV's - Compostos Orgânicos Voláteis

HAP - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

HC - Hidrocarbonetos

m_f – Massa Final

m_i – Massa Inicial

NO – Monóxido de Nitrogênio

NO₂ – Dióxido de Nitrogênio

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

SO – Monóxido de Enxofre

SO₂ – Dióxido de Enxofre

SO_x – Óxidos de Enxofre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Biomassa	18
3.1.1 Resíduos de poda: conceito	18
3.1.2 Resíduos de poda: legislação e quantitativo estadual	20
3.1.3 Resíduos de poda: alternativas de utilização.....	22
3.2 Caracterização do resíduo de poda	22
3.2.1 Análise química imediata.....	22
3.2.2 Análise da composição química da parede celular.....	24
3.2.3 Poder calorífico.....	26
3.3 O processo de combustão da biomassa.....	29
3.3.1 Queima direta: conceito.....	29
3.3.2 Queima direta: emissão de poluentes	29
3.3.3 Queima direta: amostragem de poluentes gasosos.....	30
3.3.4 Queima direta: eficiência de combustão.....	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 Preparo das amostras	31
4.2 Análise química imediata.....	32
4.2.1 Teor de umidade.....	32
4.2.2 Teor de materiais voláteis.....	33
4.2.3 Teor de cinzas	34
4.2.4 Teor de carbono fixo.....	34
4.3 Análise da composição química da parede celular.....	35
4.3.1 Teor de extrativos	35
4.3.2 Teor de lignina	36
4.3.4 Teor de Holocelulose.....	38

4.4 Poder calorífico superior	38
4.5 Amostragem dos gases e eficiência de combustão.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
5.1 Análise química imediata.....	42
5.2 Análise da composição química da parede celular.....	43
5.3 PCS (Poder Calorífico Superior)	44
5.4 Amostragem dos gases e eficiência de combustão.....	46
5.4.1 Amostragem de gases.....	46
5.4.2 Eficiência de combustão (E)	50
6. CONCLUSÃO	53
7 REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento desenfreado da população, a demanda energética está aumentando consideravelmente ano após ano e, felizmente, cresce também a busca por energias sustentáveis. A energia proveniente da biomassa é uma delas pois, para sua geração são utilizados, resíduos de atividades como a colheita agrícola, o corte de árvores, o processo de produção de açúcar e álcool e, por fim e não menos importante, a poda urbana. (BARBOSA, 2016)

Nas áreas urbanas, as árvores e a grama são podados frequentemente e, como consequência gera resíduos (grama, folhas, galhos, etc.) que, ora são dispostos em lixões e aterros, ora são utilizados para compostagem. A primeira disposição traz prejuízos a curto e longo prazos e desperdiça o poder calorífico da biomassa que poderia ser utilizado para geração de energia. Além de outro fator que deve se atentar é a geração de gás metano no momento da decomposição. Já a compostagem é um fim ambientalmente correto para o tratamento da biomassa, entretanto, também não utiliza adequadamente seu potencial energético para fins de produção de energia elétrica. (CORTEZ, 2008)

Sendo assim, resíduos orgânicos como os resíduos de poda não devem ser considerados indiscriminadamente como rejeitos (e destinados a lixões e aterros) e esforços para promover seu aproveitamento devem fazer parte das estratégias de gestão de resíduos em qualquer escala (domiciliar, comunitária, institucional, industrial, municipal, etc.).

Segundo Meira (2010), a gestão dos resíduos de poda urbana (resíduos de poda) deve relacionar ações técnicas e propostas de políticas públicas que incentivem práticas mais adequadas para que estes sejam minimizados e valorizados, intensificando a necessidade do estudo das técnicas hoje utilizadas de poda.

Através do fenômeno da fotossíntese as plantas conseguem captar a energia gerada pelo Sol e produzem energia química, essa energia que pode ser transformada em eletricidade, combustível e calor. Quando é utilizada uma fonte

orgânica para a produção de energia, ela é chamada de biomassa. (PAULA,2010)

Existem muitos resíduos agrícolas (cascas de café, arroz, etc.) que são utilizados como biomassa, restos de corte e beneficiamento da madeira (lenha, serragem, cavacos) e os resíduos de poda (grama, folhas, galhos, etc.), já mencionados, entre outros.

Apesar das vantagens da energia da biomassa frente a de outras fontes (renovável ou sustentável, baixo custo de obtenção da biomassa), há algumas implicações que devem ser consideradas, como o menor poder calorífico, daqueles mais comumente utilizados hoje em dia e, principalmente, a emissão de poluentes gasosos, os quais afetam o meio ambiente e a saúde humana. Dentre os gases tóxicos liberados destacam-se o Monóxido de Carbono (CO), os Hidrocarbonetos (HC), os Óxidos de Nitrogênio (NOx) e os particulados (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Com isso torna-se necessário o estudo desses impactos causados ao meio ambiente, quantitativamente, através da amostragem dos poluentes gasosos e a determinação da eficiência da combustão da biomassa. Nesse trabalho serão utilizados resíduos provenientes da poda no Câmpus Experimental de Itapeva – UNESP, através das análises de efeitos que os mesmos causaram.

2 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise concreta do combustível em estudo, aquele proveniente da poda, que acaba sendo descartado como resíduo.

Foi verificada sua real vantagem para a geração de energia através de análises química, energética e estrutural, consequentemente amostrando os poluentes advindos de sua queima, visando à determinação da eficiência de combustão.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo contém uma revisão da literatura sobre resíduos de poda, bem como a apresentação do que é biomassa, sua retirada e manejo, legislação aplicável e quantitativo nacional, gases poluentes gerados com sua queima direta e como determinar a eficiência de combustão.

3.1 Biomassa

3.1.1 Resíduos de poda: conceito

Biomassa é definida como toda matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizada para a produção de energia e que pode ser obtida através de uma variedade de recursos renováveis como plantas, madeira, resíduos agrícolas, excremento e até o lixo urbano. Nos resíduos de poda englobam-se os resíduos de plantas (folhas, galhos) e os restos de grama e também podem ser denominados como resíduos de varrição urbana.

Os resíduos de poda são caracterizados como biomassa vegetal.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2010), mesmo que a biomassa possua uma eficiência mais baixa em relação aos combustíveis fósseis, uma de suas principais vantagens é seu aproveitamento que pode ser feito diretamente, por meio da combustão em fornos, caldeiras etc.

Porém, hoje, tem-se investido em novas tecnologias que aumentam a eficiência do processo e reduzem impactos socioambientais, como por exemplo, a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética.

Uma outra vantagem segundo Muller (2008), é que a queima da biomassa (lenha, bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de coco e resíduos da indústria madeireira e de papel e celulose) tem suas emissões de gases que provocam o efeito estufa consideradas balanceadas, isso porque através da fotossíntese essas plantas absorvem dióxido de carbono, balanceando o que foi liberado através da combustão.

A biomassa também apresenta maior potencial para a geração de empregos no meio rural, além de disponibilidade de tecnologia já desenvolvida para a conversão em energia, com elevada eficiência (LOPES *et al.*, 2016).

A biomassa de origem urbana é um recurso oferecido pelo meio ambiente, como forma de manutenção do seu próprio ecossistema, sua grande vantagem está relacionada ao baixo custo financeiro, renovável, podendo ser utilizado como fonte de geração de energia, para a própria comunidade, mudando a condição de resíduo para utilidade pública (SANTOS *et al.*, 2014).

A biomassa vegetal gerada através de suas podas arbóreas e de limpeza de terrenos baldios apresenta um grande potencial de uso.

Biomassa é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética, visto que a dependência com relação ao uso de combustíveis fósseis tem gerado preocupações quanto ao esgotamento destes recursos e às mudanças climáticas (LIM *et al.*, 2012 apud FERNANDES *et al.*, 2015).

Segundo Silva *et al.* (2009) os resíduos de poda geram grandes volumes, que implicam em um amplo problema na hora de sua disposição, por não aceitarem compactação, consumindo espaço útil do aterro, reduzindo sua capacidade e ampliando seus custos operacionais.

Segundo Fernandes *et al.* (2009), geralmente no Brasil, os galhos mais grossos são serrados e utilizados como lenha, os demais resíduos são dispostos nos aterros, diminuindo sua vida útil, ou então colocados em áreas específicas, onde ficam estocados, não raro dando origem a incêndios.

Os resíduos de poda por longo tempo foram depositados em lixões e aterros sanitários, impossibilitando a utilização do seu poder calorífico e do teor de matéria orgânica que podem retornar ao solo na forma de composto. Dessa forma a destinação convencionalmente dada aos resíduos de poda não se mostra sustentável e adequada (PMF, 2012).

3.1.2 Resíduos de poda: legislação e quantitativo estadual

A Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, as responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis, sendo estes resíduos objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido.

A classificação dos resíduos sólidos segundo a norma técnica ABNT NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) os trata como qualquer material encontrado no estado sólido e semissólido resultante das atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição, abrangendo ainda os lodos originados de sistemas de tratamento de água, de equipamentos e instalações de controle de poluição, e determinados líquidos inviáveis para o lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.

Quando se realizam as devidas classificações dos resíduos sólidos estas facilitam a disposição correta do mesmo.

Para quantificar os resíduos de poda no Estado de São Paulo, Espada *et al.* (2008) realizaram um estudo baseado nas 7 classes, estas as quais estão apresentadas na tabela referente ao número de habitantes por municípios de acordo com o IBGE (2008) (Tabela 1). Os 645 municípios paulistas foram divididos nessas classes e seus resíduos foram amostrados 10% de municípios em cada classe, exceto na classe 7, na qual foi realizado censo. No total foram analisados 71 municípios (ESPADA, *et al.*, 2008)

Tabela 1 Municípios Paulistas Amostrados – IBGE (2008)

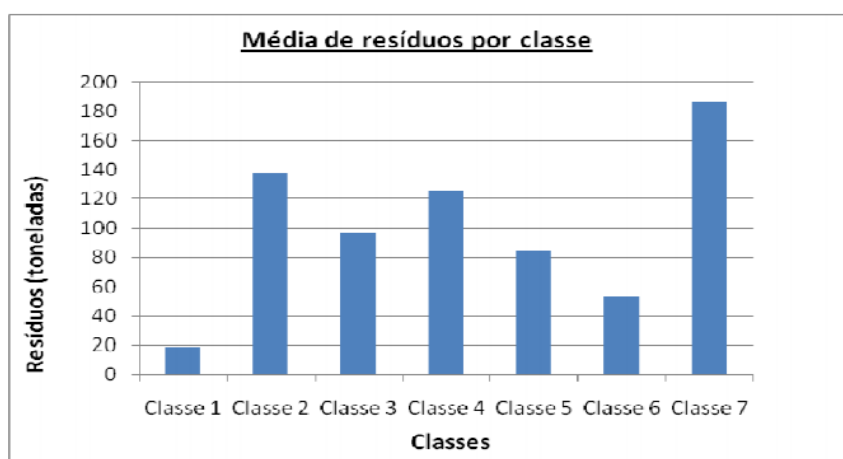
Classe	Tamanho de População	Nº de municípios amostrados
1	Até 5.000 hab.	17
2	De 5.001 a 10.000 hab.	11
3	De 10.001 a 20.000 hab.	12
4	De 20.001 a 50.000 hab.	12
5	De 50.001 a 100.000 hab.	4
6	De 100.001 a 500.000 hab.	6
7	Mais de 500.000 hab.	9

Fonte: ESPADA, 2008

Ainda segundo Espada *et al.* 2008, esses dados foram coletados através de telefonemas, e-mails e entrevistas com responsáveis por essa área dentro das respectivas prefeituras, verificou-se que nem todos os municípios têm a quantificação desses resíduos, os quais foram considerados árvores, galhos e ramos. Os que possuem esse controle são aqueles de maior porte.

Nos pequenos municípios muitas vezes fica por responsabilidade do cidadão a destinação final. Na Figura 1, pode-se observar a quantidade de resíduos derivados da arborização em algumas cidades do estado de São Paulo.

Figura 1. Estimativa da massa (tonelada) mensal de resíduos de arborização em municípios do estado de São Paulo

Fonte: Espada *et al.* (2008)

Pode-se deduzir que em grande parte dos municípios do Estado de São Paulo não há controle da quantidade de resíduos da arborização urbana gerados.

Não se pode dizer que municípios maiores geram mais resíduos de poda do que municípios menores, não existindo uma relação direta entre esses fatores.

3.1.3 Resíduos de poda: alternativas de utilização

Os resíduos de poda podem ser encarados como um problema, quando gerados em excesso e sua disposição inapropriado, como é realizado em lixões e aterros. Porém existem algumas soluções alternativas para isso, como por exemplo, uma que merece grande destaque é a compostagem, sendo este um método ambientalmente correto e seguro para a reutilização desse resíduo.

Segundo Cortez (2008) a compostagem apresenta-se como uma solução extremamente viável para a disposição de resíduos de poda, pois esta tem por objetivo principal valorizar e reaproveitar a matéria orgânica dando origem a um produto suficientemente estabilizado, designado “composto”, que pode ser aplicado no solo com várias vantagens sobre os fertilizantes químicos de síntese.

Ainda segundo Cortez (2008), a compostagem é uma forma de atenuar o problema dos resíduos sólidos urbanos dando um destino útil aos resíduos orgânicos, evitando a sua acumulação em aterros e melhorando a estrutura do solo, devolvendo à terra os nutrientes de que necessita, aumentando a sua capacidade de retenção de água, permitindo o controle da erosão e evitando o uso de fertilizantes sintéticos.

3.2 Caracterização do resíduo de poda

3.2.1 Análise química imediata

Segundo Vieira (2012), a análise química imediata é utilizada para a classificação de qualquer espécie, para alguma aplicação, para qual é possível, quantificar o teor de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas e carbono fixo. A composição química imediata refere-se ao conteúdo percentual, baseado na

massa do combustível, do carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV), cinzas (CZ) e eventualmente umidade (TU).

O conteúdo de voláteis expressa a facilidade de um material, entrar em ignição e determina como a fração em massa do combustível que volatiliza durante o aquecimento de amostra padronizada, em atmosfera inerte, até a temperaturas de aproximadamente 850°C, por 7 minutos.

A fração que permanece na amostra, logo após este aquecimento, é chamada de carbono fixo ou coque e tipicamente não forma parte de compostos orgânicos, não sendo assim facilmente assimilado por bactérias e enzimas

O teor de umidade é definido como a quantidade de água contida na biomassa estudada, o teor de umidade pode interferir em algumas características da biomassa como por exemplo o poder calorífico superior (PCS).

Souza (2016), diz que para determinar o potencial energético do resíduo de poda é necessário conhecer algumas de suas características, ou seja, a sua composição imediata e seu poder calorífico, este obteve os resultados apresentados na Tabela 2.

Após analisar os dados obtidos e os encontrados na literatura, Souza (2016), pode concluir que o resíduo de poda da cidade de Piracicaba possui um alto potencial energético e tem possibilidade de ser uma nova fonte renovável,

Tabela 2. Resultados dos Ensaio de Análise Imediata e Poder Calorífico

Biomassa – Resíduos de Poda	
Composição Imediata (b.s. %)	Resíduo de Poda
Umidade	36,62 ± 0,89
Voláteis	75,36 ± 0,53
Carbono Fixo	16,44 ± 0,36
Cinzas	8,19 ± 0,44
Poder Calorífico Superior (J/g)	16350

Fonte: Adaptado (SOUZA,2016)

Neves (2013), fez uma análise da mistura de Peroba e Garapeira, resíduos estes que são florestais, provenientes do processamento da madeira (serragem). Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Análise Imediata da Mistura de Peroba e Garapeira

Umidade (%)	Carbono Fixo (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)
11,85 ± 0,23	9,00 ± 0,58	84,05 ± 0,44	6,95 ± 0,90

Fonte: Adaptado, NEVES (2013)

Neves (2013), afirma que seus valores condizem com os encontrados na literatura, concluindo que sua análise elementar está de acordo.

Segundo Barbosa (2016) os valores obtidos na a Tabela 4, estão dentro dos esperados para o estudo da madeira de Eucalipto e para o Capim Elefante que também é um resíduo florestal.

A madeira de eucalipto, por exemplo, não possui uma grande geração de cinzas, gerando poucos resíduos após a queima, contribuindo com a preservação do meio ambiente.

Tabela 4. Caracterização físico-químicas das biomassas

Biomassa (%)	Umidade (%)	Materiais Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
Madeira de Eucalipto	9,35 ± 0,19	79,52 ± 0,44	0,6 ± 0,02	19,85 ± 0,42
Capim Elefante	68,50 ± 0,34	71,51 ± 0,18	9,17 ± 0,11	19,31 ± 0,10

Fonte: Adaptada BARBOSA (2016)

3.2.2 Análise da composição química da parede celular

A celulose, hemicelulose e lignina são os principais componentes da parede celular de uma biomassa vegetal, sendo que o teor de celulose varia de 40 a 50%, a hemicelulose de 20 a 40% e o teor de lignina de 25%, por isso a biomassa vegetal também é considerada como resíduo ligno-celulósico (MARTINI, 2009 apud VIEIRA 2012).

Segundo Abbasi e Abbasi (2010) cita que além de quantidades variáveis de celulose, hemicelulose e lignina a biomassa apresenta ainda pequenas quantidades de outros produtos orgânicos e inorgânicos.

Santos (2008) fez algumas análises da composição química de alguns resíduos florestais, resíduos estes que foram retirados em campo ele obteve os dados observados na Tabela 5.

Tabela 5. Análise da composição das 5 espécies

Espécies	Teor de Lignina (%)	Teor de Extrativos (%)	Teor de Holocelulose (%)
<i>Pterodon pubescens</i>	31,74a	6,94a	68,26b
<i>Dalbergia miscolobium</i>	32,31a	8,23a	67,69b
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	31,42a	6,14a	68,58b
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	27,78b	8,27a	72,22a
<i>Vochysia thyrsoidea</i>	25,16b	8,54a	74,84a

Fonte: Adaptado, SANTOS (2008)

Nesse estudo de Santos (2008), médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente dentro do nível de 5% de probabilidade. As espécies foram agrupadas de acordo com suas propriedades semelhantes, divididas em 2 grupos, sendo o primeiro composto por madeiras mais duras com altos teores de lignina, as três primeiras apresentadas.

Sendo que o segundo grupo, foi composto por madeiras medianamente macias, ou seja, com menores teores de lignina, as duas restantes, e o teor de holocelulose se apresentou contrário a lignina, madeiras mais duras com teores menores e madeiras medianamente macias com teores maiores.

Souza (2008) observou que o teor de extrativos não apresentou correlação com os grupos divididos por ele, e não se diferenciando entre eles para as espécies estudadas. Geralmente em biomassa lenhosas a ocorrência de extrativos é maior na casca e menor no cerne, sendo desprezível no alburno. Apesar do baixo teor de extrativos em relação aos demais componentes, sua presença pode influir na escolha da madeira para determinado fins, como os extrativos de cor ou voláteis que são valor estético ou os compostos aromáticos que impedem o ataque da madeira por fungos e insetos; ou os taninos e resina

que interferem negativamente nos processos de hidrólise da madeira ou de produção de polpa.

Paula (2010), também fez algumas análises químicas de resíduos florestais, os valores obtidos por ela estão representados na Tabela 6.

Tabela 6. Análise química dos Resíduos analisados

Biomassa	Extrativos (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)	Holocelulose (%)
Serragem	9,37	21,88	0,18	68,57
Maravalha	5,60	20,62	0,13	73,65

Fonte: Adaptado, PAULA (2010)// Serragem e maravalha não identificado a madeira da qual são provenientes

Paula (2010), não conseguiu encontrar resultados na literatura de serragem e maravalha, então ela comparou com madeira de Eucalyptus que seria o que mais se assemelhava, e analisando os resultados obtidos com os esperados, esta concluiu que os valores não se diferiram significativamente.

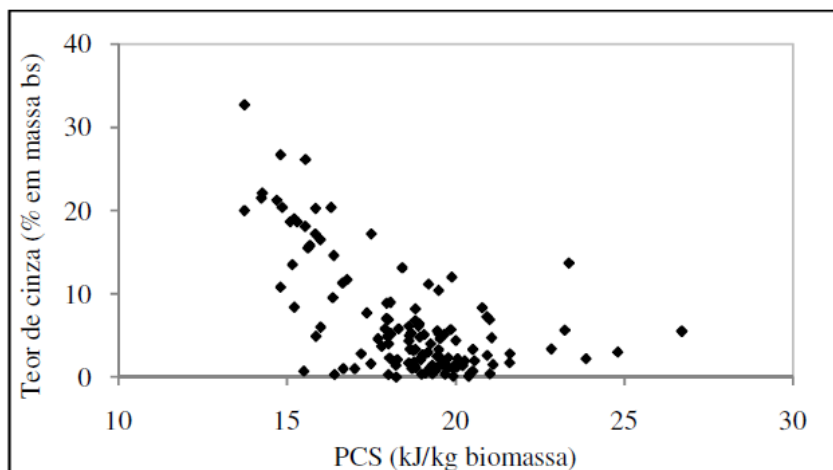
3.2.3 Poder calorífico

O poder calorífico é a quantidade de energia por unidade de massa (ou de volume, no caso dos gases) liberada na oxidação de um determinado combustível. Este pode ser expresso em poder calorífico superior (PCS) ou poder calorífico inferior (PCI), dependendo da forma como a água se encontra nos produtos, ou seja, se está se encontra em estado líquido ou gasoso, respectivamente.

Um dos fatores mais condicionantes do poder calorífico de um combustível é a sua umidade, porque a evaporação da água é endotérmica, o que implica um consumo de energia. Portanto, quanto maior o teor de umidade da biomassa menor será seu poder calorífico.

Da mesma forma, o teor em cinzas que é uma propriedade da biomassa também este pode influenciar negativamente no seu poder calorífico, como pode verificar-se, através desta representação gráfica (Figura 2), é notória a dependência entre o teor em cinzas e o poder calorífico, ou seja, quanto maior for o teor em cinzas da biomassa menor será o seu poder calorífico (Ideias, 2008)

Figura 2. Teor de Cinzas vs Poder Calorífico Superior



Fonte: IDEIAS, 2008

Como observado na Tabela 2, de Souza (2016), este afirma que o poder calorífico obtido pelos resíduos de poda de Piracicaba, está dentro das faixas estabelecidas para uma biomassa boa para geração e energia.

Encontra-se na literatura alguns dados sobre o poder calorífico de algumas biomassas utilizadas como fonte de energia, dados estes que serão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Poder calorífico superior das principais espécies florestais de Portugal

Espécie Florestal	Poder Calorífico Superior (J/g)
Eucalipto	20226
Pinheiro-bravo	21500
Pinheiro-manso	20513
Carvalho	17925
Castanheiro	17625
Azinheira	14235
Sobreiro	14235
Acácia	18930

Fonte: IMFLORESTAL (2014)

Souza, *et al*, (2011), determinaram o poder calorífico de alguns resíduos florestais, os valores médios seguidos pela mesma letra, não se diferem estatisticamente a um nível de significância de 5%, os resultados encontrados por eles, estão representados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios para o PCS, dos resíduos em estudo

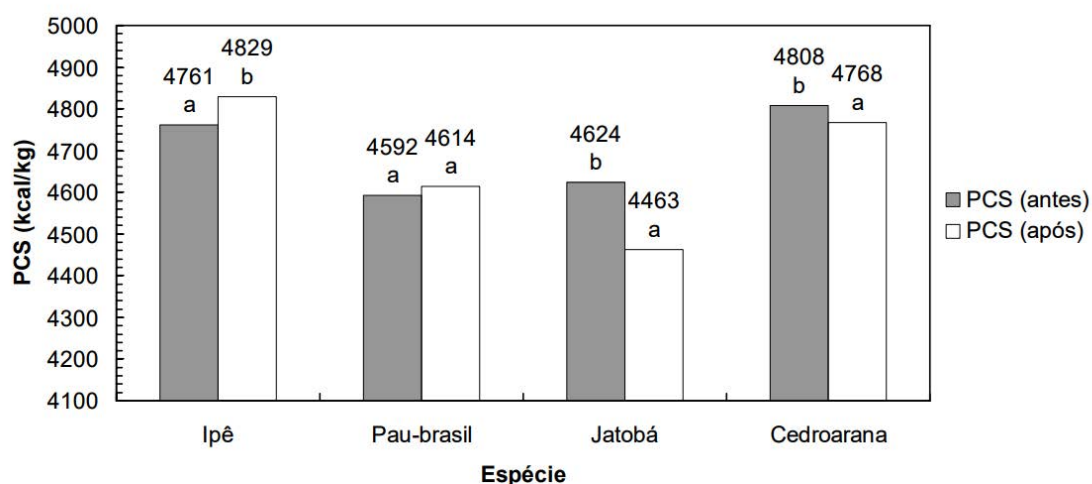
Espécie	Poder Calorífico (J/g)
Cepilho	20610a
Resíduo de Colheita	20509a
Pó de Serra	19861ab
Costaneira	19794ab
Refilo	18932b

Fonte: SOUZA, 2011

Onde estes ainda dizem que os valores médios seguidos das mesmas letras, não se diferem estatisticamente a 5% de confiabilidade. O poder calorífico superior dos resíduos foi observado entre a faixa de 18932 e 20610 J/g, o que condizem com os dados da literatura comparados (SOUZA *et al*, 2011).

Rossi *et al* (2011), realizaram um trabalho tendo como base a influência do teor de extrativos no PCS, fazendo queimas antes e após a extração do teor de extrativos, observado na Figura 3.

Figura 3. Influência do teor de extrativos no PCS

Fonte: Rossi *et al* (2011)

Estes ainda concluem, que a influência do TE em algumas espécies de madeira é variante, alguns se diferem significativamente e outros não, podendo finalizar que para o Jatobá e Cedroarana é interessante manter o TE para o aproveitamento energético.

3.3 O processo de combustão da biomassa

3.3.1 Queima direta: conceito

A combustão da biomassa faz-se em três estágios: ignição, combustão com chama (flaming), e combustão com ausência de chama (incandescência ou smoldering) (JUNEJA, 1975 E ROWEL, 1991 apud AMORIM, 2012).

Na primeira fase da combustão há o aquecimento da biomassa provocando a evaporação e eliminação da água. Na segunda fase de combustão a biomassa começa a ser termicamente degradada e materiais voláteis começam a ser vaporizados. O terceiro estágio de combustão é o da queima carbono fixo que permanece após a liberação dos gases voláteis. Finalmente, uma pequena quantidade de cinza permanece após a queima do carbono fixo (Brito, 1979 apud Amorim ,2012).

3.3.2 Queima direta: emissão de poluentes

Pode-se definir como poluente atmosférico qualquer substância estranha no meio ambiente, resultante de processos fabris, de atividade humana e de processos naturais que devem acontecer em quantidades significantes para interferir direta ou indiretamente na saúde humana. (MACHADO,2013)

Quando se tem a combustão completa da biomassa, por exemplo, obtém-se vapor de água juntamente com o CO_2 , já quando se pensa em uma combustão incompleta tem-se a formação de CO, juntamente com outros gases e hidrocarbonetos, que são lançados à atmosfera. A emissão de poluentes após a combustão é inevitável, porém é possível ter um cuidado especial e sua liberação ser diminuída. (MACHADO, 2013)

Os poluentes formados são particulados, monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), compostos orgânicos voláteis (COV's), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), óxidos de azoto (NO_x principalmente NO e NO_2), óxidos de enxofre (SO_x , principalmente SO_2).

Pode ainda ocorrer a emissão de gases ácidos, metais pesados e eventualmente dioxinas e furanos (especialmente a partir de combustíveis derivados de resíduos (CDR)) quando estes combustíveis são produzidos a

partir de madeiras de demolição, muitas vezes com tintas e outros tipos de produtos de acabamento, contendo metais pesados). Os poluentes como CO, HC, HAP e COV's derivam de uma combustão incompleta e podem ser controlados afinando a estequiometria e a mistura de ar com o combustível que está sendo usado (IDEIAS, 2008)

Em relação à saúde humana, Arbex *et al.* (2004) afirmam que as partículas mais prejudiciais à saúde são as finas e ultrafinas, que constituem 94% do total na atmosfera, pois transpõem a barreira epitelial e atingem o interstício pulmonar, mas que os gases liberados também causam grandes impactos a saúde humana.

3.3.3 Queima direta: amostragem de poluentes gasosos

O equipamento mais comumente utilizado para as análises das emissões gasosa e suas quantificações é o Eurotron ele é um analisador de gases e determina a composição química dos gases da combustão.

Os dados são coletados em tempo real de amostragem e armazenados. Permite a medição de pressão diferencial para medir perdas de carga e velocidade do gás.

Sensores eletroquímicos internos fazem a leitura das concentrações de oxigênio (O₂), de monóxido de carbono (CO), de NO_x (óxidos de nitrogênio) e de SO₂ (dióxido de enxofre). Quando percebem elevação descontrolada de alguma das concentrações ele entra no modo de diluição automática.

As temperaturas do gás e do ar são utilizadas em conjunto com a análise do gás para calcular a eficiência, o excesso de ar, e a concentração de CO₂. A concentração de O₂ é a base que irá normalizar as outras concentrações, permitindo comparação entre valores. Podendo referenciar a concentração de O₂ na porcentagem desejada, este equipamento está em conformidade com EPA (Environmental Protection Agency).

3.3.4 Queima direta: eficiência de combustão

Segundo Ward e Hardy (1991) apud Amorim (2012), a eficiência de combustão define-se como a razão do carbono emitido como CO₂ e o carbono total emitido na forma de CO₂ e CO. Dados da literatura reportam que valores de EC maiores que 0,9 caracterizam a combustão de biomassa na fase de chama.

Assim a eficiência de combustão (EC) pode ser calculada através da Equação 1.

$$EC = \frac{[CO_2]}{[C_{total}]} \quad (1)$$

Onde:

EC – Eficiência de combustão;

[CO₂] – Concentração do carbono emitido como CO₂;

[C_{total}] - Concentração do carbono total emitido (CO + CO₂);

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo será apresentada a metodologia empregada para analisar e caracterizar os resíduos de poda do Câmpus Experimental de Itapeva da UNESP, bem como para a queima dos mesmos e para a realização da amostragem dos gases gerados com essa queima e para o cálculo da eficiência de combustão.

O resíduo de poda que será utilizado como, é retirado do campus de Itapeva sendo que essa poda ocorre aproximadamente de 15 em 15 dias, durante as coletas que eram em podas alternadas o material era todo destinado ao projeto SENAR, especificamente para a compostagem, atualmente esse projeto não existe mais dentro do campus.

4.1 Preparo das amostras

O resíduo de poda coletado no Câmpus Experimental de Itapeva da UNESP foi homogeneizado, seco naturalmente sob cobertura no Laboratório de Fenômenos de Transporte, Energia e Controle Ambiental, moído com auxílio do moinho de facas Wiley, para diminuição da sua granulometria e classificado num sistema de peneiras, considerando-o material passado na peneira de 35 mesh – 0,500 mm e retido na peneira de 60 mesh – 0,250 mm.

O material utilizado para queima é apresentado na Figura 4, coletado em dias alternativos com composições alternativas, como grama, folhas, galhos, tentando pegar todos os tipos possíveis de resíduos de poda mais encontrado nos lixões e aterros.

Figura 4. Resíduos de poda



4.2 Análise química imediata

Cada análise (teor de umidade, teor de materiais voláteis e teor de cinzas) foi realizada em duplicata e calculada a média aritmética e os procedimentos para a análise química imediata basearam-se na norma ASTM E-870-82 “Análises Imediata para Biomassa e Resíduos”.

4.2.1 Teor de umidade

Para determinar o teor de umidade da amostra foi utilizada como base o documento normativo NBR 14929:2017 “Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa”. Pesou-se dois cadinhos secos e vazios em balança analítica, que foi tarada, uma amostra de aproximadamente 1 g da biomassa (Figura 5). Os dois cadinhos foram levados à estufa ambos os cadinhos à temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente 24 horas, para que estes atingissem uma massa constante.

Figura 5. Biomassa granulométrica



Fonte: Autoria Própria

Passado esse tempo, foram retirados os cadinhos da estufa e foram acondicionados no dessecador por aproximadamente 5 minutos, em seguida pesou-se novamente os cadinhos, e com o auxílio da Equação 2, se determinou o teor de umidade das amostras.

$$TU(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

$$m_s = m_{\text{cadinhos+amostra seca}} - m_{\text{cadinho}} \quad (3)$$

Onde:

TU(%) = 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.

4.2.2 Teor de materiais voláteis

Para a determinação do teor de materiais voláteis foi necessário uma mufla, previamente aquecida em torno de 850 °C. Posteriormente os cadinhos já preparados, ou seja, contendo a biomassa que seria estudada, foram levados à mufla. Antes de colocá-los dentro da mufla, os cadinhos foram deixados na sua entrada (Figura 6) durante 4 minutos aproximadamente, para assim evitar que ocorresse o colapso dos mesmos, que pode acontecer devido ao choque térmico que ocorre quando inseridos imediatamente.

Após aproximadamente 6 minutos, o cadinho ainda tampado foi retirado da mufla e colocado em um dessecador. Após 1 hora, aproximadamente, determinou-se a massa da amostra em balança analítica (m_f). Para a determinação do teor de materiais voláteis utilizando-se a Equação 4.

$$MV(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (4)$$

Onde:

MV(%) = teor de materiais voláteis, em %;

m_i = massa inicial seca, em g;

m_f = massa final seca , em g.

Figura 6 Cadinhos na porta da mufla



Fonte: Autoria Própria

4.2.3 Teor de cinzas

Para a determinação do teor de cinzas foi utilizada a mesma mufla descrita para o teor de voláteis, porém, agora aquecida a 750°C, onde foi colocada a amostra de biomassa preparada e seca nos cadinhos de porcelana calcinados, sendo retirados após um período de 6 horas retirou-se a amostra da mufla, resfriou-se em um dessecador por aproximadamente 1 hora e pesados em balança analítica.

Através da utilização da Equação 5 foi possível determinar o teor de cinzas presente na amostra.

$$CZ(\%) = \frac{m_r}{m_i} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

CZ(%) = teor de cinzas, em %;

m_i = massa inicial seca da amostra, em g;

m_r = massa do resíduo, em g.

4.2.4 Teor de carbono fixo

O último procedimento é uma medida indireta, teor de carbono fixo, que pode ser calculado através da Equação 6.

$$CF(\%) = 100 - (MV + CZ) \quad (6)$$

Onde:

CF(%) = teor de carbono fixo, em %;

MV = teor de materiais voláteis, em %;

CZ = teor de cinzas, em %.

4.3 Análise da composição química da parede celular

Os procedimentos para a realização da análise da composição química da parede celular, basearam-se nos documentos normativos TAPPI T 204 om-97 e TAPPI T 222 om-97.

4.3.1 Teor de extrativos

Para a determinação do teor de extrativos foi necessário pesar aproximadamente 2 g a.s. (absolutamente seco), do resíduo de poda e colocar em um papel filtro, o qual foi adicionado no condensador da bateria de extração (Figura 7).

No balão foram colocados 250 mL de solução etanol/tolueno e, a partir da primeira sulfonada (quando o balão enche por inteiro), manteve-se o conjunto de extração durante 5 horas.

Removeu-se essa solução etanol/tolueno do balão e adicionou-se 250 mL de etanol anidro, contando-se 4 horas a partir da primeira extração. Em seguida, o material foi filtrado em um cadinho filtrante nº 2, utilizando 1 L de água deionizada aquecida.

Após a filtragem, os cadinhos foram levados à estufa (103 ± 2 °C) por um período de 4 horas, resfriados em dessecador por aproximadamente 5 minutos e pesados. A determinação do teor de extrativos foi feita através da Equação 7.

$$TE (\%) = \frac{m_{i(s)} - m_{f(s)}}{m_{i(s)}} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

TE(%) = teor de extrativos, em %;

$m_{i(s)}$ = massa inicial seca, em g;

$m_{f(s)}$ = massa final seca, em g.

Figura 7. Bancada para extração



Fonte: Autoria Própria

4.3.2 Teor de lignina

Para a determinação do teor de lignina presente na amostra pesou-se 0,3 g a.s.(absolutamente seca) de resíduos de poda em formato de serragem, livre de extrativos, que foi acondicionada em tubos de ensaio.

Com o auxílio de uma pipeta, adicionou-se aos tubos 3 mL de H_2SO_4 a 72%. O material foi macerado com bastões de vidro e os tubos de ensaio foram colocados em banho-maria a $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 hora, mexendo a mistura a cada 10 minutos.

Após este período, removeu-se os tubos do banho e adicionou-se 84 mL de água destilada. A mistura foi então colocada em “frasco tipo penicilina” de 100 mL, fechado hermeticamente com tampa de borracha e lacre de alumínio, e levada à panela de pressão doméstica por 1 hora, a partir do momento de ebulição.

Em seguida, com as amostras ainda quentes, essas foram filtradas em cadinhos filtrantes nº 2 recobertos com papel filtro e completados com água deionizada para 250 mL. O material contido nos cadinhos foi seco em estufa, resfriado e pesado. Com isso através da Equação 8 é possível determinar o teor de lignina insolúvel da amostra.

$$TLI (\%) = \frac{P_1}{P} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

TLI (%) = teor de lignina insolúvel, em %;

P = peso inicial da amostra a.s., em g;

P₁ = Peso do resíduo, em g.

Após este procedimento, determinou-se o teor de lignina solúvel. O mesmo foi obtido através do licor filtrado durante os procedimentos para determinação da lignina insolúvel.

Desse modo, o material filtrado foi analisado nos comprimentos de onda de 215 e 280 nm, com auxílio de um espectrofotômetro. A partir das equações 9, 10 e 11 obteve-se o teor de lignina solúvel.

$$TLS(\%) = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (9)$$

$$m_f = C_{LS} \times V_f \quad (10)$$

$$C_{LS} = \frac{(4,53 \times abs_{215}) - (abs_{280})}{300} \quad (11)$$

Onde:

TLS (%) = Teor de lignina solúvel, em %;

m_i = Massa inicial, em g;

m_f = Massa final/lignina solúvel, em g;

C_{LS} = Concentração de lignina solúvel, em g/L;

V_f = Volume final da solução, em L;

abs_{215} = absorbância em 215 nm;

abs_{280} = absorbância em 280 nm.

4.3.4 Teor de Holocelulose

O teor de holocelulose foi calculado a partir da Equação 12

$$TH(\%) = 100 - (TLT + TE) \quad (12)$$

Onde:

TH (%) = Teor de holocelulose, em %;

TLT = Teor de lignina total = TLS + TLI, em %;

TE = Teor de extrativos, em %.

4.4 Poder calorífico superior

A determinação do poder calorífico superior da biomassa foi realizada num sistema calorimétrico utilizando o documento normativo ASTM E711-87, “Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter”, com uma bomba calorimétrica (Figura 8), inserida num calorímetro (Figura 9).

Figura 8. Bomba Calorimétrica



Fonte: Autoria Própria

Figura 9. Calorímetro



Fonte: Autoria Própria

A determinação do PCS, foi realizado segundo o documento normativo ABNT NBR 8633/84 “Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico”. Neste procedimento foi pesado aproximadamente 1,0 g da amostra de biomassa preparada, seca e moída, que foi colocada num cadinho fabricado de quartzo e, posteriormente, introduzido na bomba calorimétrica. Em seguida, colocou-se água destilada no reservatório apropriado.

Ainda foi conectado um fio de algodão ao fio de níquel presente na bomba calorimétrica (para ignição) e uma pastilha de ácido benzoico.

Posteriormente a bomba foi vedada e introduzida na cápsula do calorímetro, que apresentou o resultado de poder calorífico ao final de uma espera de aproximadamente 15 minutos em seu visor. Finalizado o procedimento a bomba calorimétrica foi retirada do calorímetro e sua pressão relaxada.

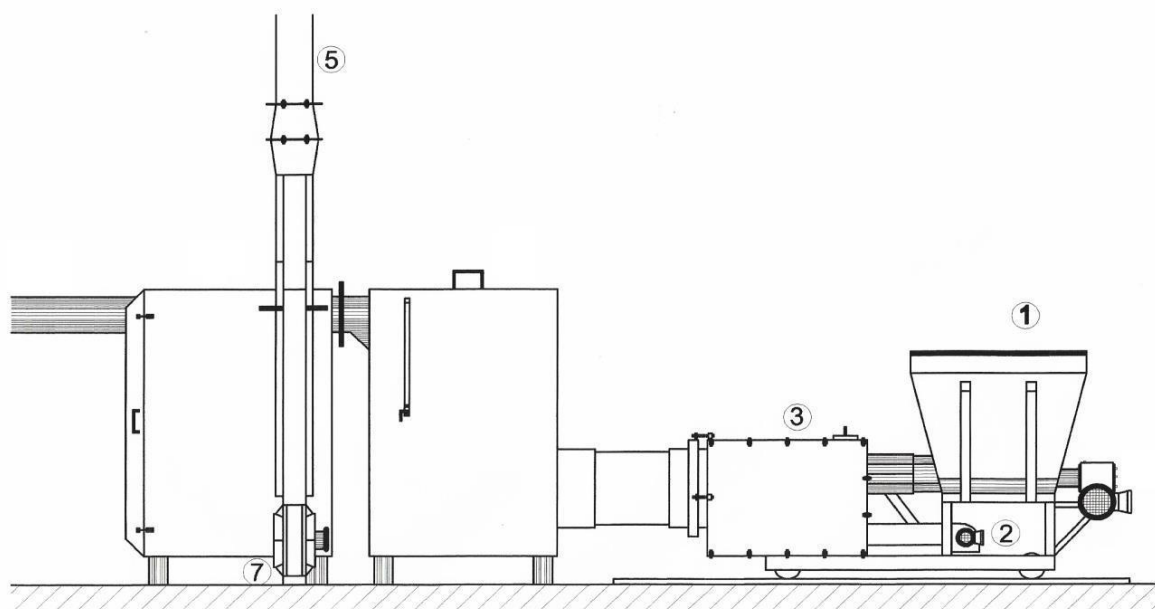
4.5 Amostragem dos gases e eficiência de combustão

Para realização da queima da biomassa foi necessário acondicionar o material em local arejado e seco, por aproximadamente 15 dias e controlar o TU da biomassa, em seguida foram realizados testes de queima com diferentes amostras (diferentes teores de umidade) e diferentes tempos de queima para quantificação dos gases emitidos e para o cálculo de eficiência de combustão sob diferentes condições.

Durante cada queima a biomassa foi inserida no alimentador (Figura 10 – item 1) de forma semi-continua, sendo que o alimentador recebe esse material até completar a sua capacidade, a rosca sem fim localizada no fundo desse alimentador possibilita a passagem da biomassa para o queimador, até que o volume do alimentador esgote e possa adicionar mais material.

O queimador de biomassa (Figura 10 – item 3) é constituído por um ventilador que consegue manter a chama acesa, com temperatura média de 800°C a 1200°C.

Figura 10. Desenho Esquemático do queimador



Fonte: CIESLINSKI, 2014.

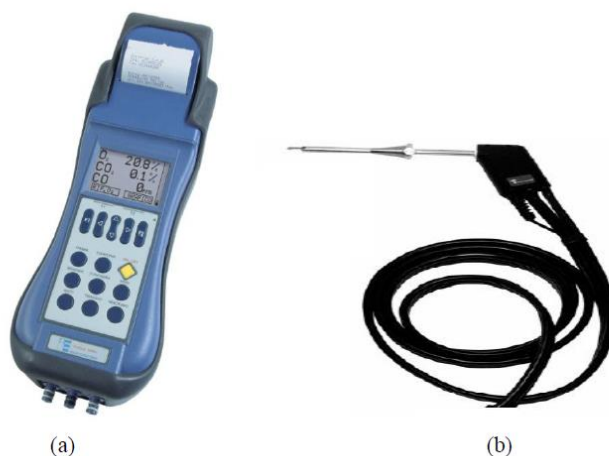
- 1 – Alimentador de biomassa com rosca sem fim acoplada
- 2 – Controlador de ar de alimentação
- 3 – Queimador de biomassa
- 5 – Chaminé
- 7 - Soprador

A chaminé (Figura 10 – item 5) foi o local de coleta de dados para análise dos gases, utilizou-se o analisador eletroquímico portátil UniGas 3000+ da *Eurotron Instruments* (Figura 11 (a)), junto com a sonda de amostragem (Figura 11 (b)), que foi devidamente inserida na chaminé do queimador (Figura 10 – item 5), que de acordo com o documento normativo 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 dióxido de carbono (CO_2), 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 11. Analisador de Gases UniGas 3000+ (a) e sonda de amostragem (b)



Fonte: CIESLINSKI, 2014

O soprador (Figura 10 – item 7), localizado após o queimador (câmara de combustão) é a parte que contém os trocadores de calor, sendo este utilizado para adicionar ar limpo na chaminé com o intuito de ajudar a diluir os gases de exaustão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos após as análises e as queimas da biomassa (resíduos de poda) em estudo.

5.1 Análise química imediata

Para que fosse possível identificar o potencial energético da biomassa fez-se necessário conhecer algumas das suas características, tais como teor de umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, encontrados na Tabela 9.

Na mesma tabela são elencados os valores obtidos por diferentes autores (SOUZA, 2016; BARBOSA, 2016 e NEVES, 2013) para biomassas semelhantes (origem florestal).

Neves (2013), trabalhou com as serragens obtidas de Peroba e Garapeira cedida por uma empresa da região. Barbosa (2016), utilizou os resíduos retirados em campo que fazem parte da cultura do estado do Ceará.

Tabela 9. Comparação de resultados obtidos com os presentes na literatura

Biomassa	Autor	TU	MV	CZ	CF
Resíduos de poda	Própria	16,24%	71,11%	5,71%	23,18%
Resíduos de Poda	SOUZA (2016)	36,62%	75,36%	8,19%	16,44%
Peroba e Garapeira	NEVES (2013)	11,85%	84,05%	6,95%	9,00%
Eucalipto	BARBOSA (2016)	9,35%	79,56%	0,6%	19,85%
Capim Elefante		68,5%	71,51%	9,17%	19,31%

Fonte: Autoria própria

Analisando os valores obtidos para análise química imediata dos resíduos de poda, pode-se observar um alto teor de cinzas (5,71%) quando comparado ao teor verificado para Eucalipto (0,6%) que é um dos mais utilizado

hoje em dia para geração de energia, devido ao fato da coleta dos resíduos de poda ser realizada por varrição, podendo agregar ao material a sílica ao qual não fazia parte, elevando assim este valor. Entretanto, os valores obtidos para os outros tipos de biomassa e especialmente para os resíduos de poda na literatura apresentam similaridade.

Os teores de materiais voláteis para os resíduos de poda deste trabalho e do de Souza (2016) apresentaram-se muito próximos (diferença de 4,25%).

5.2 Análise da composição química da parede celular

Foi realizada a determinação da composição química da parede celular porque alguns teores (TL, TE e TH) podem influenciar negativamente ou positivamente o potencial energético da biomassa.

A lignina é obtida em larga escala em todo o mundo, e principalmente como subproduto da polpação, pois para a fabricação de papel ela influencia de forma negativa. Buscando formas de reaproveitá-las, observou-se que a lignina possui um alto potencial energético, reutilizando-a como fonte de energia para caldeiras de reaproveitamento.

Na Tabela 10 encontram-se os resultados da análise comparados com resultados de outros autores que estudaram biomassas florestais.

Tabela 10. Resultados obtidos na análise da composição da parede celular

Biomassa	Autor	TE	TL	TH
Resíduos de Poda	Própria	13,80%	36,27%	49,93%
Pterodon pubescens	SANTOS (2008)	6,94%	31,74%	68,26%
Dalbergia miscolobium		8,23%	32,31%	67,69%
Sclerobium paniculatum		6,14%	31,42%	68,58%
Stryphnodendron adstringens		8,27%	27,78%	72,22%
Vochysia thyrsoidea		8,54%	25,16%	74,84%
Serragem*	PAULA	9,37%	21,88%	68,57%
Maravalha*	(2010)	5,60%	20,62%	73,65%

*Sem espécie identificada, apenas proveniente do processamento da madeira retirada no campo

Para os resíduos de poda, encontrou-se o maior teor de lignina, o que afeta positivamente o potencial energético da biomassa, ou seja, quanto maior o teor de lignina maior será o poder calorífico da biomassa.

Já o teor de extrativos, como dito por Rossi (2011), influencia positivamente ou negativamente no PCS dependendo da espécie analisada. Nesse caso a influência foi positiva aumentando o PCS

Pode-se dizer que tanto o teor de lignina quanto o teor de extrativos são benéficos para o PCS, já o teor de holocelulose como é calculado através da diferença é apenas apresentado com o intuito de concluir os 100% da composição da parede celular do resíduo de poda.

5.3 PCS (Poder Calorífico Superior)

Os valores obtidos para o poder calorífico superior dos resíduos de poda neste trabalho e no de Souza (2016), além dos obtidos para diferentes biomassas florestais por outros autores, encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11. PCS obtido e observados na literatura

Biomassa	Autor	PCS	Umidade
Poda de árvores (neste trabalho)	Própria	17013 J/g	16%
Poda de árvores	SOUZA (2016)	16350 J/g	36,65%
Eucalipto	IMFLOREST AL (2014)	20226 J/g	-
Pinheiro-bravo		21500 J/g	-
Pinheiro-manso		20513 J/g	-
Carvalho		17925 J/g	-
Castanheiro		17625 J/g	-
Azinheira		14235 J/g	-
Sobreiro		14235 J/g	-
Acácia		18930 J/g	-
Cepilho		20610 J/g	-
Resíduo de colheita		20509 J/g	-
Pó de serra	SOUZA (2011)	19861 J/g	-
Costaneira		19794 J/g	-
Refilo		18932 J/g	-
Pellets	GARCIA <i>et al.</i> (2012)	18800 J/g	8,67%

Fonte: Autoria Própria

Os pellets têm sido muito utilizados para aproveitamento energético, demanda que vem crescendo ano após ano consideravelmente. Comparando-se os valores de PCS obtidos com os demais valores, principalmente dos resíduos de poda, observa-se uma pequena diferença (1787 J/g), que pode ser explicada devido ao teor de umidade.

Por exemplo Souza (2016) trabalhou com 36,65% de umidade e Garcia et. al (2012), trabalhou com o teor de 8,67%, o resíduo de poda desse trabalho foi utilizado com TU médio de 16%, então o teor de umidade é extremamente significativo para a geração de energia, o que está de acordo com

a literatura, outra justificativa para a diferença é à composição elementar dos resíduos de poda analisados.

5.4 Amostragem dos gases e eficiência de combustão

5.4.1 Amostragem de gases

Foram realizadas análises preliminares de teor de umidade e de poder calorífico superior antes de cada queima. Foram realizadas 3 queimas em dias diferentes. Os resultados estão apresentados na Tabela 12. Cada queima teve em média uma duração de 55 minutos.

Queimas	TU(%)	PCS (J/g)	CO (%)	CO ₂
1	16,10	16379	0,030	0,5935
2	15,67	17837	0,024	1,5376
3	16,90	16264	0,043	1,5000

As predominâncias dos materiais utilizados foram de galhos e folhas de árvores para a primeira queima, resíduos de pinus e pinha, para segunda queima, e predominantemente grama e pinha para a terceira queima.

A pinha era utilizada para acelerar o processo da queima dentro do queimador, quando se percebia alto índice de CO.

As Figuras 12, 13 e 14 mostram as concentrações de CO (%) emitido por tempo de queima dos resíduos de poda e as identificações das fases de combustão em todas as queimas.

A delimitação das fases de queima (transição entre chama e incandescência) pode ser observada no gráfico (Figura 12) em aproximadamente 22 minutos de queima. A concentração de CO aumenta visualmente na fase de incandescência.

Figura 12. Concentração de CO em função do Tempo - 1ª Queima

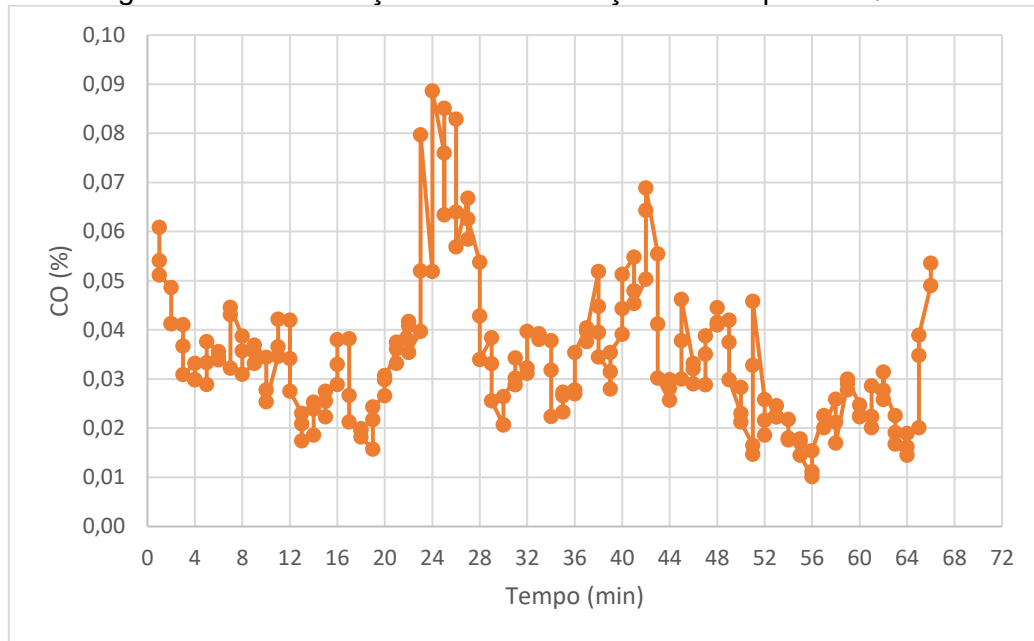
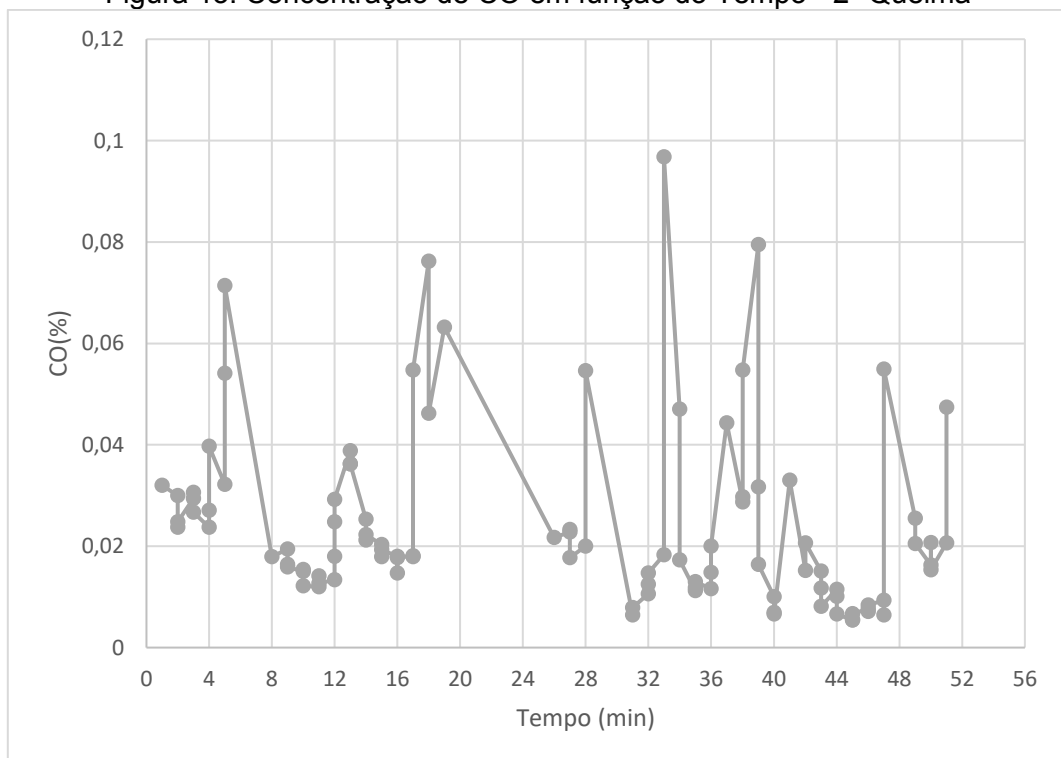
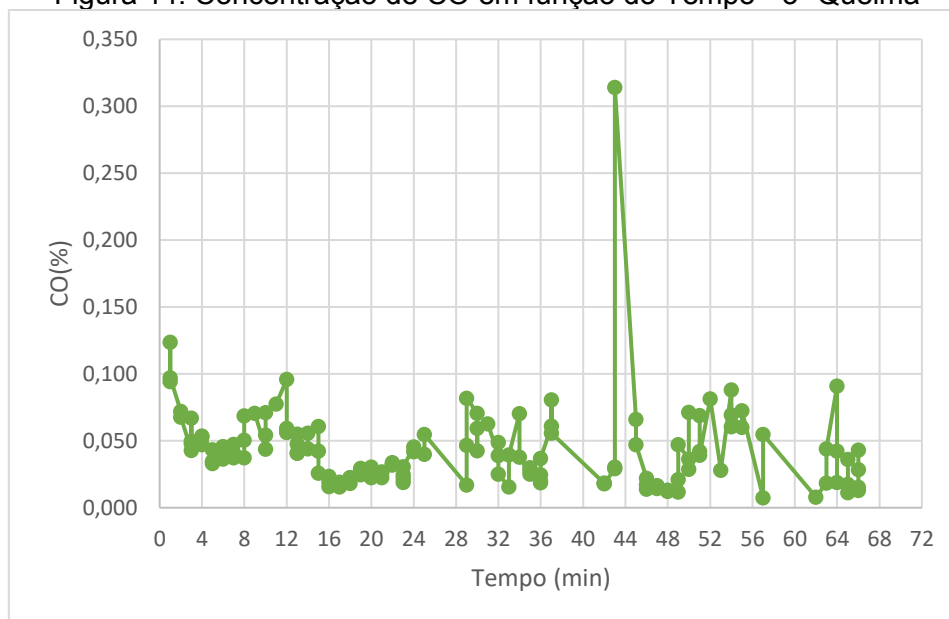


Figura 13. Concentração de CO em função do Tempo - 2ª Queima



Na Figura 13, a delimitação das fases de queima pode ser observada em aproximadamente 18 minutos de queima.

Figura 14. Concentração de CO em função do Tempo - 3ª Queima



Para a 3ª queima (Figura 14), a delimitação das fases de queima não é precisa de forma visual, as concentrações de CO aparentam estar constantes, com exceção para 0,314% em 43 minutos de queima. Entretanto, após realizar uma média entre as concentrações de CO antes de 18 minutos (tempo aproximado para a 2ª queima com resíduos semelhantes aos da 3ª queima) e após 18 minutos de queima, obteve-se o valor de 0,049 e 0,039%, respectivamente, dados que se mostraram contrários aos esperados o que, segundo Marcondes (2015), por ser explicado devido às baixas temperaturas na câmara de combustão e pouca mistura entre o ar de combustão e os gases de combustão, motivado pelo elevado teor de umidade do combustível (16,90%).

Os picos de concentração de CO durante as três queimas foram de 0,09, 0,09 e 0,33%, respectivamente para a 1ª, 2ª e 3ª queima. Segundo a resolução CONAMA os padrões primário e secundário de qualidade do ar, estabelecidos através da Resolução Conama nº 03/90 é de 35 ppm (0,0035%) para 1 hora de amostragem e o limite de emissão estabelecido pelo mesmo órgão através da Resolução Conama nº 382/06, de 1,7 ppm (0,00017%) para um queimador com potência térmica entre 0,15 e 1,0 MW, onde o queimador utilizado se encaixa. Portanto, as concentrações de CO amostradas ultrapassaram os limites estabelecidos, sendo prejudiciais à saúde humana, pois o CO tem grande atração pela hemoglobina (proteína que carrega oxigênio dentro das hemácias para garantir oxigênio para todos os órgãos do corpo

humano). Quando o CO é inalado pelo homem, já que ele tem mais facilidade de se fixar na hemoglobina, ele impede e "toma o lugar" do oxigênio na hemoglobina causando asfixia.

As figuras 15, 16, 17 mostram, respectivamente, as concentrações de CO₂ (%) por tempo de queima e a temperatura do gás (°C) também por tempo de queima.

Figura 15. Temperatura e CO₂ em função do tempo - 1ª queima

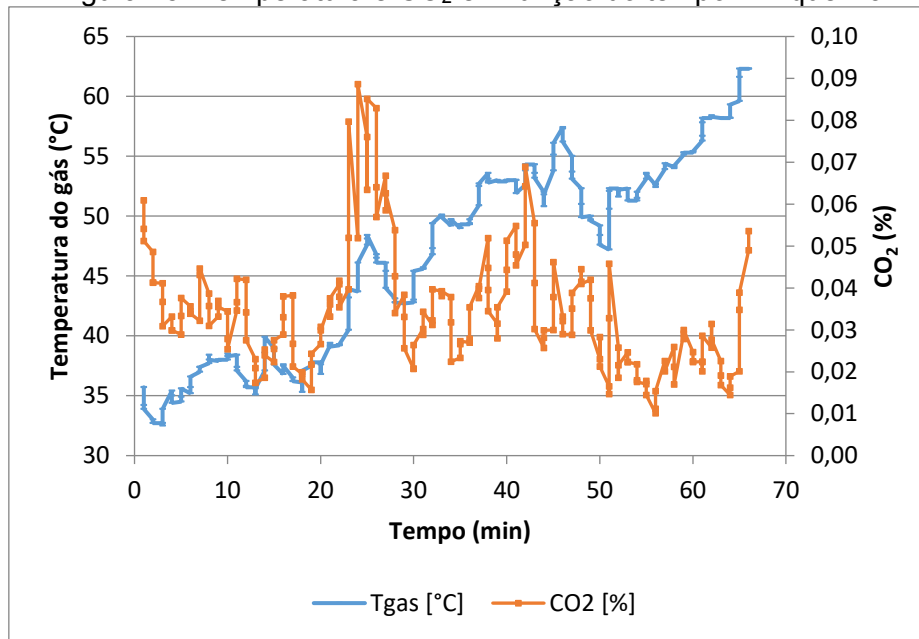


Figura 16. Temperatura e CO₂ em função do tempo - 2ª queima

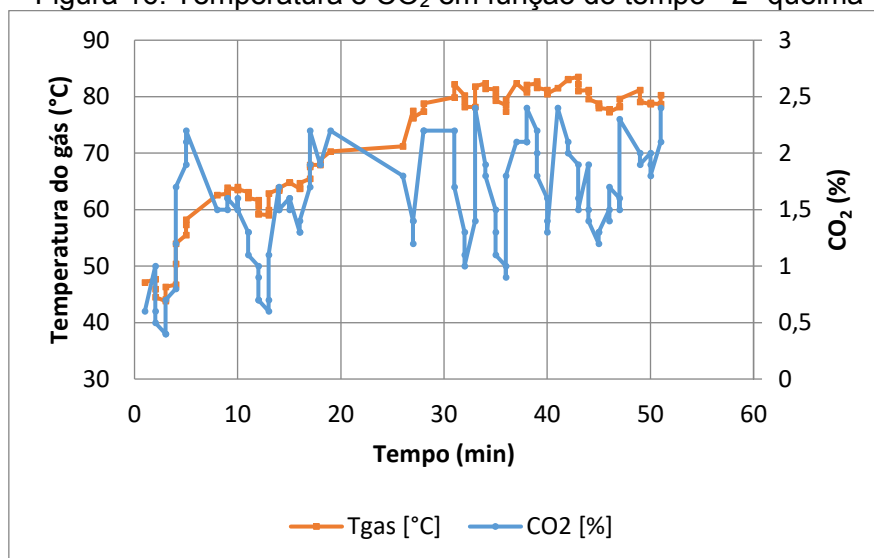
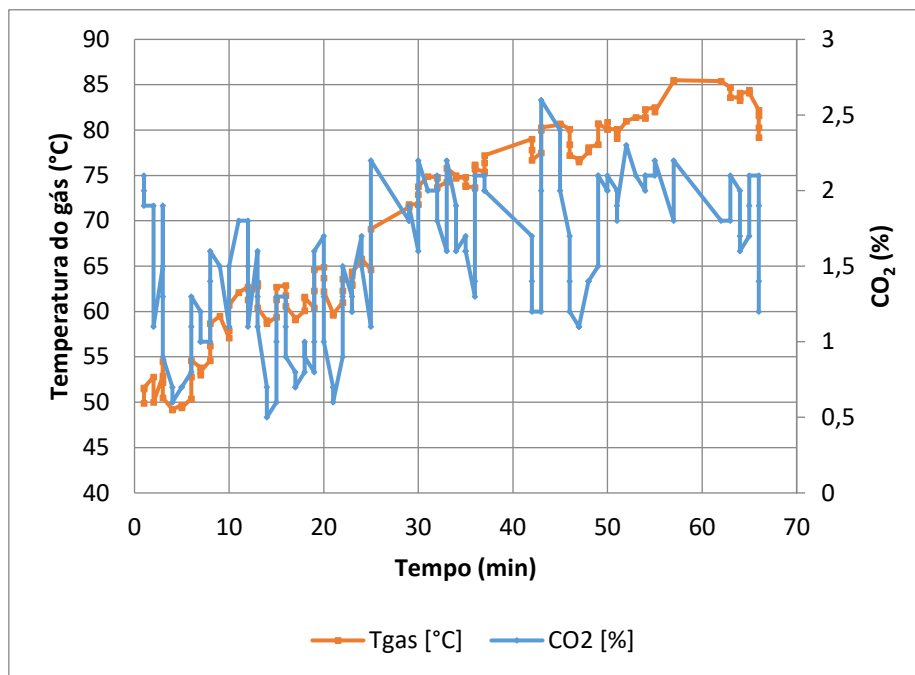


Figura 17. Temperatura e CO₂ em função do tempo - 3ª queima



Nas Figuras 15 e 16, observa-se que a curva de concentração de CO₂ possui o mesmo comportamento da curva de temperatura do gás durante a queima, como esperado por Soares Neto *et al* (2011), onde maiores taxas de queima estão associadas a maiores temperaturas do gás e maiores concentrações de CO₂, e vice-versa. Analisando a Figura 17, essa similaridade entre as curvas não é tão efetiva, sendo possível observar um comportamento contrário ao obtido por Soares Neto *et al* (2011).

Marcondes (2015) afirma que combustíveis com menor teor de umidade possuem maior temperatura de combustão, o que é possível observar nas Figuras 15 e 16. Porém a Figura 17 o comportamento é contrário, pois seu teor de umidade é o maior e sua temperatura de combustão também.

5.4.2 Eficiência de combustão (E)

Realizando uma média global das eficiências obtidas em cada queima foi possível construir a Tabela 13.

Tabela 13. Eficiência global das queimas

Queima	E (%)	TU (%)
1	93,0	16,10
2	98,3	15,67
3	97,1	16,90

Em relação à eficiência pontual é possível observar os resultados nas Figuras 18,19 e 20.

Figura 18. Eficiência pontual - 1ª queima

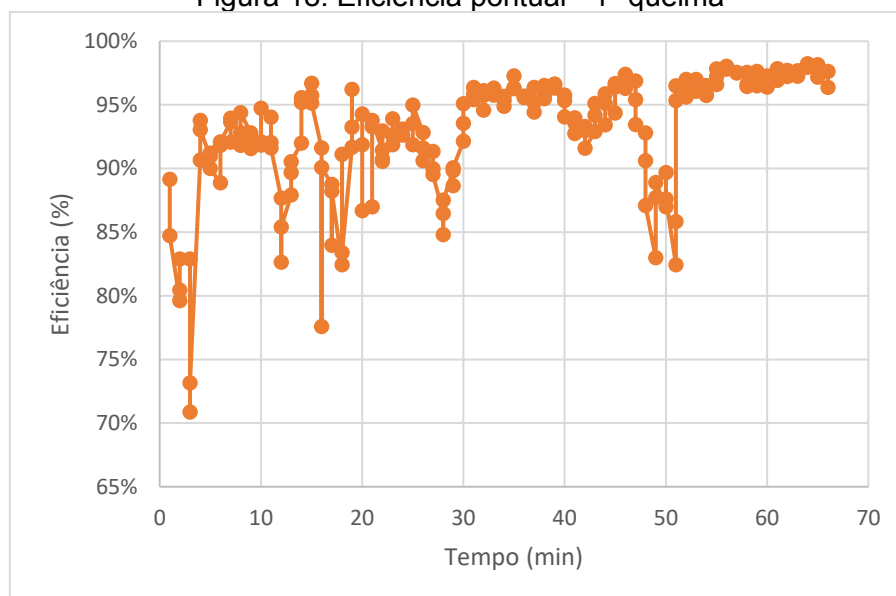


Figura 19. Eficiência pontual - 2ª queima

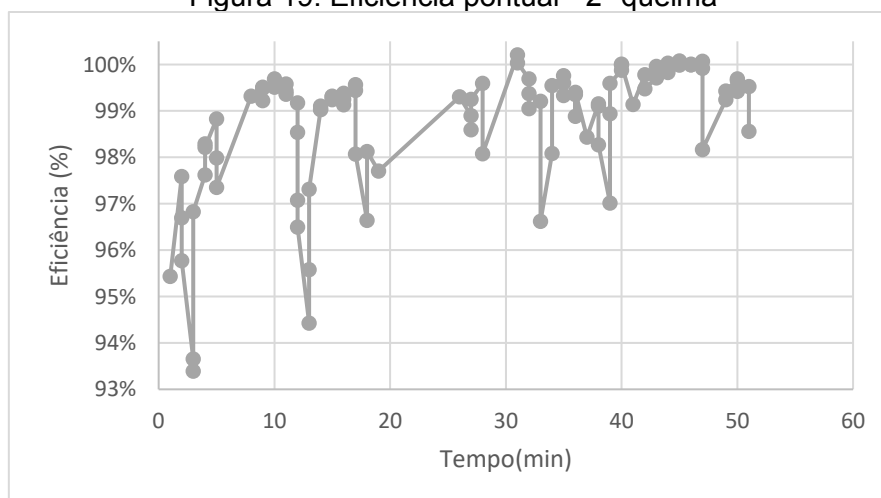
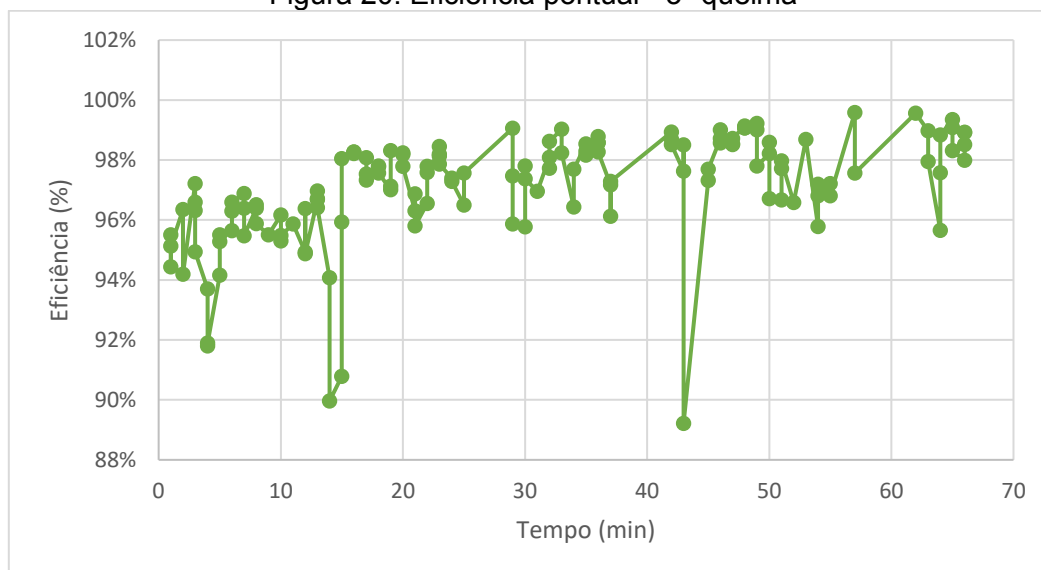


Figura 20. Eficiência pontual - 3ª queima



Como a fase de incandescência apresenta as maiores concentrações de CO, espera-se menores eficiências pontuais na fase de incandescência, porém analisando as Figuras 18, 19 e 20, observou-se um comportamento contrário, pois as eficiências na fase de incandescência resultaram maiores que na fase de chama mostrando que o material possui uma eficiência energética muito boa em todo o momento da queima.

Essa relação entre as eficiências por fase pode ser observada na Tabela 14.

Tabela 14. Eficiência por fase		
Queima	Fase	E (%)
1	Chama	89,8
	Incandescência	94,6
2	Chama	97,6
	Incandescência	98,8
3	Chama	95,8
	Incandescência	97,8

6. CONCLUSÃO

Pode-se observar que hoje em dia os combustíveis que mais são utilizados como fonte de energia são as madeiras de Eucalipto e Pinus, bagaço de cana-de-açúcar, pellets, combustíveis os quais podem ficar cada vez mais escassos e de mais difícil acesso, portanto tendo como alternativa o resíduo de poda seria interessante. Este resíduo possui um poder calorífico comparado com os demais aceitável, isso pode ser explicado pelo alto teor de lignina encontrado no mesmo, pois a lignina influencia positivamente o poder calorífico do material.

Porém em contrapartida a geração de CO é acima do estabelecido pelo CONAMA quando se pensa em qualidade de ar.

Em relação à geração de CO₂ este possui um comportamento similar ao comportamento da temperatura do gás, dados estes que condizem com o esperado pela literatura.

Quando analisado o teor de umidade percebe-se que quando se tem maiores teores a eficiência diminui, porém, uma das queimas se mostrou contrária a isso, devido a maior predominância de grama no material queimado.

Na literatura tem-se dados de que a eficiência diminui durante a fase de incandescência, pois esta é delimitada pela maior presença de CO, porém nos resultados obtidos observa-se o contrário, podendo ser explicado pelo fato do resíduo de poda ser eficiente em todo momento da queima. Apresentando eficiências superiores a 90%.

Resíduo esse que pode ser utilizado como substitutos de outros materiais para geração de energia. Pois ele, possui viabilidade em relação a parte energética estudada, já que apresentou altos valores de poder calorífico superior, entretanto é de extrema importância a realização do controle de emissões de gases, já que os valores apresentados pelo presente estudo estão acima dos permitidos pelos padrões ambientais, para não ser prejudicial ao meio ambiente.

7 REFERÊNCIAS

ABBASI T., ABBASI S.A, **Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. Renewable and Sustainable Energy Reviews**. India: Elsevier, v. 14, p. 919-937, 2010.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Biomassa**. Disponível em:< [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf) > . Acesso em: 10 out. 2017.

AMORIM, E. B. **Gases de efeito estufa produzidos pela combustão de biomassa**. 2012. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ARBEX, M. A., *et al.* Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Cerqueira César, . 2004. 30(2), 158-175

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E-870-82**: Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Classificação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 30 p.

CETESB. L9. 221: Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação dos Pontos de Amostragem, 1990.

CIESLINSKI, J. E. F. **Study the issue and control of gases and particles from biomass burning**. 2014. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

CLEANER PRODUCTION INITIATIVES AND CHALLENGES FOR A SUSTAINABLE WORLD, 3º, 2011, São Paulo, **Influência da remoção dos extrativos de resíduos de madeiras no seu poder calorífico**. São Paulo: ROSSI,2011. 5 p.

CORTEZ, C. L. *et al.* Compostagem De Resíduos De Poda Urbana. **Centro Nacional de Referência em Biomassa**, São Paulo, mar. 2008.

CONAMA. **Resolução Conama nº 03/90**: Padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR, 1990.

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

CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5º, 2014, Belo Horizonte, **Gestão Ambiental – Ações e Comportamentos**. Belo Horizonte: IBEAS,2014. 4 p.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 11º, 2016, Fortaleza, **Caracterização do potencial energético de biomassas**. Fortaleza BARBOSA, 2016. 8 p.

ESPADA, A. L., *et al.* Quantificação de poda e remoção de árvores em municípios do Estado de São Paulo. **USP diretório digital**. São Paulo. 2008

FERNANDES, F.; BATISTA, G. A.; SOUZA, S. G.; SILVA, S. M. C. P.. Aproveitamento dos resíduos de podas de árvores e capinas do meio urbano para produção de composto. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**. 21. Anais. João Pessoa: ABES, 2001.

FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS FERNANDES, 6º, 2015, São José dos Campos. **Caracterização do resíduo industrial casca de arroz com vistas a sua utilização como biomassa**, São José dos Campos, 2015, p. 1 - 9.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Programa Minas Sem Lixões. s.d

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. Caracterização energética de pellets de madeira. **Revista da Madeira**, v. 24, n. 135, p. 14-16, 2013.

IBGE. IBGE investiga a Cultura nos municípios brasileiros. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=345&id_pagina=1. Acesso em 20/08/2017

IDEIAS, P. M. C.. **Influência da matéria volátil na combustão de biomassa em leito fluidizado**. 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente)- Departamento do Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal, 2008.

IMFLORESTAL, ENGASP. **Estudo do potencial energético de calor de cada biomassa / resíduo agrícola e vegetal**. Ibero massa florestal, Lda. 2014

LOPES, Guilherme; BRITO, José Otávio; DE MOURA, Luiz Fernando. Uso energético de resíduos madeiros na produção de cerâmicas no estado de São Paulo. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, 2016.

MACHADO, T. V. **Amostragem de poluentes gasosos e particulados emitidos pela queima de biomassa vegetal**. 2013. 69 f. Trabalho de Conclusão de curso (Engenharia Industrial Madeireira) – UNESP, 2013

MARCONDES, F. F. **Amostragem de poluentes gasosos e particulados finos emitidos pela combustão do bagaço de cana-de-açúcar** / Trabalho de Conclusão de curso (Engenharia Industrial Madeireira) – UNESP 2015

MEIRA, A. M. **Gestão de resíduos da arborização urbana**. 2010. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MÜLLER, F. B. **Biomassa**. Disponível em: <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/biocombustiveis/biomassa>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

NEVES, R. C.,- **Reforma de gás de gaseificação por meio de tocha de plasma: ensaios preliminares**– Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Campinas, SP : [s.n.], 2013.

PAULA, L. E. R. **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos** 72 p.: il. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Valorização dos resíduos sólidos orgânicos no município de Florianópolis através de beneficiamento dos resíduos de podas**. Florianópolis, 2012. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/>> Acesso em 10 de out. de 2017.

REVISTA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA. La Plata, Semestral, ISSN: 0325-9250.

RODRIGUES, et al. (2015) REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS. Aquidabã: Sustenere, Mensal, ISSN 2179-6858.

SANTOS, Andressa Freire dos; FERNANDES, Anna Karin; SOUZA., Claudio Arcanjo de. **Produção de biomassa a partir da poda da arborização urbana do município de dourados**. V Congresso Brasileiro De Gestão Ambiental, 2014, Belo Horizonte. Ibeas,

SANTOS, I.D. (2008). **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. Distrito Federal. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília.

SANTOS, M. L. A.,. **Polén coletado por *Apis melífera* no diagnóstico da poluição ambiental causada por praguicidas e metais no Brasil**. 2005. 89 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SILVA, M. J. D.; RENOFIO, T. C. Z.; MARGUTT, M. C.. A Reutilização dos Resíduos das Podas de Árvores e o Levantamento Regional dos tipos de Árvores. In: **Simpósio Internacional de Ciências Integradas**. 4. Anais. Guarujá: Universidade de Ribeirão Preto, 2009.

SOARES NETO, T. G. *et al.* Laboratory evaluation of Amazon forest biomass burning emissions. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 7455-7461, 2011.

SOUZA, I.D. , **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do**

carvão vegetal de cinco espécies lenhosas dos cerrado. Dissertação (mestrado em engenharia florestal) - Universidade de Brasília. 2008

SOUZA, Nariê; ALENCAR, Lemuel; MAZONETTO, Alexandre. Potencial energético do resíduo das podas de árvores no município de Piracicaba. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 3, 2016.

SOUZA, Marina; SILVA, Dimas; ROCHADELLI, Roberto; SANTOS, Rosimeire. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 42, n. 2, 2011.

TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. T 204: Solvent extractives of wood and pulp, 1997

TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. T 222: Acid-insoluble lignin in wood and pulp, 1998.

Uso Energético de Resíduos Madeireiros na Produção de Cerâmicas no Estado de São Paulo. Santa Maria: Scielo, 1991. Trimestral. ISSN 0103-9954. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/22767>>. Acesso em: 10 out. 2017.

VIEIRA, A. C.. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas.** 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascável, 2012.