

ALANA NATALI MÂNICA

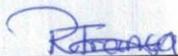
**DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DO LODO DE
ESGOTO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL A PARTIR DA ANÁLISE
IMEDIATA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como
requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul.

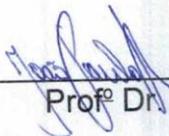
Orientador: Prof^o Dr. Rosiléa Garcia França

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e
aprovado pela banca em: 04 / 12 / 2015

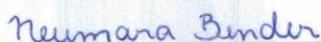
BANCA EXAMINADORA



Prof^o Dr. Rosiléa Garcia França – UFFS



Prof^o Dr. João Paulo Bender – UFFS



Prof^a Me. Neumara Bender - UFRGS

DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DO LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL A PARTIR DA ANÁLISE IMEDIATA

Alana Natalí Mânica*
Rosiléa Garcia França**

RESUMO

Alguns resíduos possuem propriedades interessantes para a produção de energia se explorados adequadamente, tornando-se uma alternativa sustentável em vista do largo desenvolvimento industrial e degradação ambiental. O objetivo do presente trabalho foi analisar o potencial energético do lodo da lavagem de veículos, lodo de esgoto doméstico e lodo da indústria de reciclagem de papel. Para tanto, foram determinados o teor de umidade, o teor de material volátil, o teor de cinzas, o teor de carbono fixo e por meio de uma correlação matemática o poder calorífico das biomassas analisadas. Os teores de umidade encontrados para o lodo da lavagem de veículos, lodo de esgoto doméstico e lodo da indústria de reciclagem de papel foram de 35,49%, 86,70% e 65,90%, respectivamente. Em base seca, o lodo da lavagem de veículos apresentou 7,22% de material volátil, 92,70% de cinzas e 0,08% de carbono fixo. O lodo da estação de tratamento de esgoto indicou 62,11% de material volátil, 28,76% de cinzas e 9,13% de carbono fixo. O lodo da indústria de reciclagem de papel apontou 56,68% de material volátil, 34,27% de cinzas e 9,05% de carbono fixo. O lodo da lavagem de veículos apresentou o menor poder calorífico, de $0,43 \text{ MJ.kg}^{-1}$, sendo desqualificado para geração de energia, enquanto que os lodos da estação de tratamento de esgoto doméstico e da indústria de papel apresentaram, $12,69 \text{ MJ.kg}^{-1}$ e $11,77 \text{ MJ.kg}^{-1}$, respectivamente, apresentando propriedades favoráveis para o processo de combustão que devem ser estudadas com mais aprofundamento.

Palavras-chave: Potencial energético. Biomassa. Lodo de esgoto. Lodo papel.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial impulsionou larga geração de resíduos e uma desordenada utilização dos recursos naturais não renováveis como fonte energética para suprir as necessidades da sociedade moderna, causando uma significativa problemática ambiental. A participação das fontes renováveis na matriz energética sofreu uma ampliação em vários países nos últimos anos, entretanto, observa-se que a contribuição para geração de energia ainda é reduzida, países industrializados contam essencialmente com fontes não-renováveis de energia (COSTA; PRATES, 2005). Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (2014), mundialmente, no ano de 2011, a participação de energias renováveis na matriz energética foi de 13,0%, enquanto que no Brasil foi de 44,0%, mantendo-se entre as mais elevadas no mundo. Entretanto, essa participação no Brasil sofreu uma queda de 3,0% entre os anos de 2011 e 2013 devido à menor oferta de energia hidráulica.

As fontes renováveis não se limitam a compromissos ou obrigações ambientais, mas também visam o desenvolvimento de tecnologias no país, e permitem, em vários casos, a

*Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Chapecó. alana_manica@yahoo.com.br.

** Professora do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Chapecó e orientadora do componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II. rosilea.franca@uffs.edu.br

geração distribuída de energia. Sendo assim, apesar do maior custo envolvido quando comparado com o das fontes tradicionais, as novas fontes renováveis podem se tornar competitivas (COSTA; PRATES, 2005).

A biomassa é um recurso renovável proveniente de matéria orgânica, seja ela animal ou vegetal, que possui uma grande vantagem do ponto de vista energético por permitir que seu aproveitamento seja realizado diretamente por combustão em caldeiras, fornos ou outros equipamentos (ANEEL, [2015?]). Diferentes tecnologias para o processamento e transformação de energia são disponibilizadas, mas todas as tecnologias de biomassa usadas possuem dois problemas, que são o custo da biomassa e a eficiência energética de sua cadeia produtiva (CORTEZ; LORA; OLIVARES GÓMEZ, 2008).

Com o crescimento contínuo do uso do petróleo e gás natural para geração de energia, a utilização da biomassa foi restrita às residências particulares em regiões agrícolas, porém hoje surge uma motivação para o uso de energias renováveis nas matrizes energéticas industriais, pela necessidade de reduzir o uso de derivados de petróleo, no qual causam dependência energética aos países exportadores de petróleo, além de emitirem gases promotores do efeito estufa (CORTEZ; LORA; OLIVARES GÓMEZ, 2008).

O aumento de interesse que a utilização de biomassa como fonte de energia renovável tem recebido, deve-se também, por ser proveniente do reaproveitamento de resíduos que são muitas vezes descartados de forma inadequada e que possuem propriedades proveitosas se trabalhadas de maneira correta (FRITZ; VIEIRA; SANTOS JÚNIOR, 2011). Segundo Harumi Imai (2010), alguns resíduos são facilmente reaproveitados nas indústrias de origem ou empresas recicladoras, já outros possuem uma destinação mais difícil devido a sua natureza, como é o caso do lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto.

Este lodo é um resíduo gerado pelo tratamento do esgoto para promover a redução da sua carga orgânica e de seu potencial poluente. Entretanto, a disposição do lodo de esgoto representa um alto custo para as estações de tratamento (ANDRADE; MATIAZZO, 2000).

A destinação mais comum para o lodo gerado são os aterros industriais e sanitários, no entanto, dos pontos de vista técnico, financeiro e ambiental essa alternativa de destinação tem muitas desvantagens. Do ponto de vista da sustentabilidade, o ideal é que todos os resíduos possam ser reaproveitados, evitando os danos gerados à sociedade e preservando o meio ambiente (HARUMI IMAI, 2010). Outra forma de destinação usualmente utilizada para o lodo é a reciclagem agrícola. Para Saito (2007), os benefícios obtidos com sua aplicação no solo graças a sua composição rica em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo seriam a reciclagem da matéria orgânica e o reforço de nutrientes no solo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas e a produtividade agrícola. Porém, em consequência à alta concentração de substâncias possivelmente contaminantes presentes no lodo, a prática da reciclagem agrícola pode resultar em ação direta de patógenos diversos e substâncias químicas não desejadas no solo agricultável e, por conseguinte, na cadeia alimentar.

A reciclagem de resíduos, entre eles o lodo, é uma forma de disposição alternativa que vem sendo utilizada de maneira crescente na área da construção civil, podendo ser considerada como uma prática ambientalmente correta, diminuindo o uso de recursos naturais. A utilização de agregados com resíduos tem se mostrado como uma atividade tecnicamente promissora na inserção de novos materiais na construção civil, como os agregados a partir de lodo formando misturas asfálticas e cerâmicas. Contudo, a sustentabilidade econômica deve estar associada ao valor de mercado dos produtos gerados a partir dos resíduos, dos custos do processo de reciclagem, dos custos de disposição final e dos impactos ambientais decorrentes (ANDREOLI et al., 2006).

Outra forma de disposição do lodo é a combustão, de acordo com De Sena (2005), o lodo é considerado uma biomassa de alto poder calorífico, podendo gerar energia a partir de sua combustão direta, apresentando-se como uma alternativa para redução do impacto

ambiental causado por este rejeito, redução de custos para disposição final adequada e compra de outros combustíveis.

Os resíduos, em geral, possuem um grande potencial energético se explorados adequadamente, mas devido à existência de divergentes alternativas de usos dos resíduos, são grandes as variações de aproveitamento destes, sendo não comumente utilizados como biomassa para produção de energia. Os resíduos mais utilizados mundialmente com a finalidade de se extrair energia são os resíduos vegetais, porém graças ao avanço tecnológico novos resíduos importantes estão sendo estudados, como o lodo de estação de tratamento de esgoto e industriais (CORTEZ; LORA; OLIVARES GÓMEZ, 2008).

Algumas características são essenciais para que um combustível seja qualificado para a geração de energia, o poder calorífico é a principal delas, porém não é a única, para determinados combustíveis as propriedades físicas e químicas (como a umidade, material volátil, carbono fixo e cinzas, obtidos a partir da análise imediata) assumem a mesma importância e dependendo de sua amplitude a eficiência energética do combustível pode ser comprometida, como é o caso da biomassa (BRAND, 2010).

Por ser a destinação final do lodo uma problemática ambiental e ter muitos custos envolvidos, este trabalho se justifica pela busca de uma alternativa de aproveitamento energético do lodo de esgoto doméstico e industrial, usufruindo de suas propriedades e destinando-o de forma produtiva à sociedade gerando um baixo impacto ambiental. Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar o potencial energético do lodo de esgoto doméstico e industrial para uso como biomassa, determinando o poder calorífico por meio da análise imediata das amostras de lodo de esgoto doméstico, lodo de lavagem de veículos e de lodo da indústria de reciclagem de papel.

2 METODOLOGIA

2.1 FONTES DE AMOSTRAS DE BIOMASSA (LODO)

As amostras de lodo utilizadas neste estudo foram provenientes de estação de tratamento de esgoto e industriais, descritas abaixo:

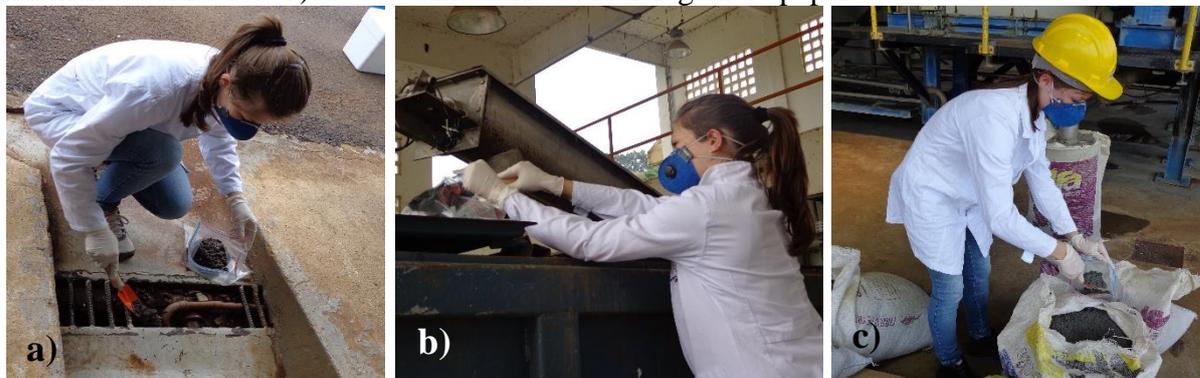
- Lodo da estação de tratamento de esgoto doméstico (ETE) – gerado na estação de tratamento de esgotos de Chapecó/SC por processo de lodos ativados por aeração prolongada. No processo de floculação são adicionados produtos químicos e polímeros no processo de desidratação do lodo.
- Lodo da lavagem de veículos – gerado dentro do sistema de lavagem dos veículos, se forma devido à alta sujidade dos veículos. É utilizado no processo produtos químicos e jatos de alta pressão e adicionado ao lodo um produto químico que serve como floculante.
- Lodo da indústria de reciclagem de papel – gerado no tratamento de efluentes da empresa, efluentes estes provenientes do processamento e produção do papel. No processamento do lodo são adicionados floculante e polímero.

2.2 AMOSTRAGEM E ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS

A coleta de uma amostra representativa de cada lodo estudado foi efetuada conforme descreve a norma ABNT NBR 10007/2004 (Amostragem de resíduos sólidos). O amostrador utilizado para coleta das amostras foi uma pá tipo jardineiro e o recipiente para o

acondicionamento da amostra sacos de polietileno com vedação. Para amostragem foram usados equipamentos de proteção individual (luvas, máscara, botas e jaleco), de tal forma que se evite contaminação por patógenos e/ou metais que podem estar presentes nos lodos. Na Figura 01 observa-se a coleta das amostras de lodo.

Figura 01. Coleta das amostras. a) Lodo da lavagem de veículos. b) Lodo da estação de tratamento doméstico. c) Lodo da indústria de reciclagem de papel.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a coleta as amostras condicionadas em sacos de polietileno foram preservadas em caixas isotérmicas com presença de gelo para garantir a integridade das amostras. No laboratório as amostras foram mantidas em refrigeração de 4°C na ausência de luz até a realização dos experimentos.

2.3 ANÁLISE IMEDIATA

A análise imediata da biomassa seguiu a norma da ABNT NBR 8112/1986 (Carvão vegetal – Análise imediata), que se aplica à determinação do teor de umidade, cinza, matérias voláteis e carbono fixo. As análises foram realizadas em triplicata.

2.3.1 Determinação do teor de umidade

Para determinação do teor de umidade as amostras foram pesadas e colocadas em bandejas de alumínio. As amostras de lodo foram submetidas à secagem em estufa à 105°C até que a massa da amostra permanecesse constante, após esfriada em um dessecador por 15 minutos foi determinada a massa final. O teor de umidade (W) foi calculado com a Equação 1.

$$W (\%) = \frac{(m_0 - m_1)}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde: m_0 é a massa inicial da amostra (em gramas) e m_1 é a massa final da amostra (em gramas).

2.3.2 Determinação do teor de cinzas

Para determinação do teor de cinzas uma massa de 1 (um) grama de amostra isenta de umidade foi colocada em um cadinho sem tampa. Os cadinhos com as amostras foram colocados em uma mufla a (900 ± 10) °C até que a amostra queimasse completamente,

aproximadamente 3 (três) horas, deixou-se esfriar em um dessecador e determinou-se a massa final. O teor de cinzas (A) foi calculado com a Equação 2.

$$A (\%) = \frac{(m_1 - m_0)}{m} \times 100 \quad (2)$$

Onde: m_0 é a massa do cadinho (em gramas); m_1 é a massa do cadinho + resíduo (em gramas) e m é a massa da amostra (em gramas).

2.3.3 Determinação do teor de matérias voláteis

Para determinação do teor de matérias voláteis uma massa de aproximadamente 1 (um) grama de amostra isenta de umidade foi colocada em um cadinho com tampa. Os cadinhos com as amostras foram colocados sobre a porta da mufla previamente aquecida a (900 ± 10) °C durante 3 (três) minutos, depois deste período o cadinho foi colocado no interior da mufla onde permaneceu por 7 (sete) minutos com a porta fechada, conforme explícito na NBR 8112/1986, após esfriar em um dessecador foi determinada a massa final. O teor de matérias voláteis (V) é calculado com a Equação 3.

$$V (\%) = \frac{(m_2 - m_3)}{m} \times 100 \quad (3)$$

Onde: m_2 é a massa inicial do cadinho + amostra (em gramas); m_3 é a massa final do cadinho + amostra (em gramas) e m é a massa da amostra (em gramas).

2.3.4 Determinação do teor de carbono fixo

A determinação do carbono fixo (F) é uma medida indireta e pode ser calculado de acordo com a Equação 4.

$$F (\%) = 100 - (A + V) \quad (4)$$

2.4 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO

A determinação do poder calorífico foi realizada por meio de uma correlação com a análise imediata desenvolvida por Parikh, Channiwala e Ghosal (2005), na qual foram consideradas 450 tipos de biomassas e apresenta um erro absoluto de 3,74%.

$$PCS = (0,3536 \times F) + (0,1559 \times V) - (0,0078 \times A) \quad (5)$$

A Equação 5, desenvolvida por Parikh, Channiwala e Ghosal (2005), fornece o valor do poder calorífico superior em MJ.kg^{-1} .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar a avaliação do potencial calorífico do lodo de esgoto doméstico, lodo de lavagem de veículos e do lodo gerado no processo de reciclagem de papel, uma das propriedades analisadas foi a umidade. A umidade é uma característica de influi de forma negativa para a viabilidade da utilização da biomassa para geração de energia, segundo Brand (2010), o teor de umidade é diretamente proporcional ao consumo de combustível, custos de transporte, perdas de calor com gases de escape, além de provocar corrosão nos equipamentos e acumular sujeiras em suas superfícies.

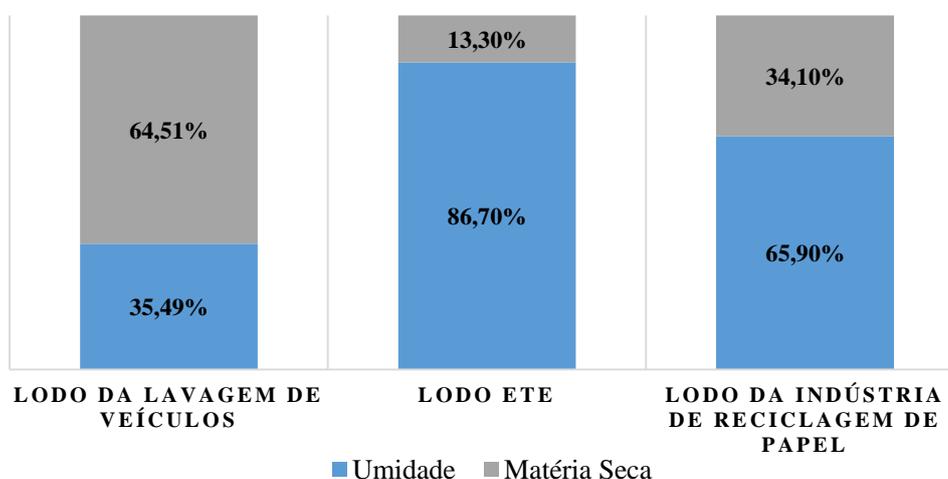
Os resultados do teor de umidade média das amostras de lodo analisadas podem ser verificados na Tabela 01 e na Figura 02.

Tabela 01. Teor de umidade média das amostras de lodo analisadas.

Lodo	Teor de umidade média - W (%)
A – Lavagem de veículos	35,49
B – ETE	86,70
C – Reciclagem de papel	65,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 02. Teor de umidade média das amostras de lodo analisadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelos resultados obtidos verificou-se que o lodo da estação de tratamento de esgoto foi o que apresentou maior teor de umidade, com 86,70%, seguido do lodo da indústria de reciclagem de papel, com valor de 65,90%, e, o lodo da lavagem de veículos indicou o menor teor de umidade, com 35,49%.

O teor de umidade é inversamente proporcional ao poder calorífico da biomassa, ou seja, quanto maior a quantidade de água presente no material, menor será a quantidade de energia liberada em sua queima, em razão de que a primeira etapa da combustão consiste na evaporação e eliminação da água presente no combustível, e para que isso ocorra de forma apropriada é requerido uma determinada quantidade de energia (BRAND, 2010).

O valor de umidade média encontrado para o lodo da estação de tratamento de esgoto, de 86,70%, está próximo do valor encontrado por Higa Lee e Santos (2011), que foi em torno

de 80%. O teor de umidade média, 65,90%, do lodo da indústria de reciclagem de papel se aproxima dos 59,80% encontrados por Yu et al. (2002, *apud* BORGES, 2008). Vale constatar que diferentes lodos gerados da mesma atividade podem possuir diferentes teores de umidade em virtude ao tratamento empregado e aos produtos químicos adicionados.

De acordo com Klautau (2008), a maioria das biomassas utilizadas no processo de combustão possuem um limite de 65% de umidade para auto sustentar sua queima, acima deste valor a energia liberada é insuficiente para eliminar a água presente no combustível e conseguir produzir calor. Nas amostras de lodo analisadas somente o lodo proveniente da lavagem de veículos apresentou um valor abaixo de 65% de umidade, dessa forma pode-se inferir que é imprescindível a secagem dos lodos da estação de tratamento de esgoto doméstico e da indústria de reciclagem de papel previamente à sua queima para que o processo de geração de energia térmica seja satisfatório.

Outra análise efetuada foi o teor de materiais voláteis, na qual desenvolvem um papel importante na ignição do combustível e nas primeiras etapas da combustão, pois após a volatilização dos componentes químicos eles se misturam com o oxigênio do ar promovendo as reações de combustão (BRAND, 2010; CORTEZ; LORA; OLIVARES GÓMEZ, 2008). Os resultados alcançados podem ser observados na Tabela 02.

Tabela 02. Teor de materiais voláteis médio das amostras de lodo analisadas.

Lodo	Teor de materiais voláteis - V (%)
A - Lavagem de veículos	7,22
B - ETE	62,11
C - Reciclagem de papel	56,68

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando os valores apresentados na Tabela 02, verifica-se que o teor de material volátil do lodo da estação de tratamento de esgoto doméstico apresentou o maior resultado, 62,11%, dados encontrados na literatura apontam valores de 61,2% de material volátil (HIGA LEE; SANTOS, 2011) no qual se aproxima muito do valor encontrado. Outros valores para o lodo de esgoto doméstico também encontrados são de 43,3% (BORGES; SELIN; MEDEIROS, 2008) e 48,07% (PASQUINI, 2014).

O lodo da indústria de reciclagem de papel apresentou teor de matérias voláteis de 56,68%, valor este muito próximo do encontrado por Harumi Imai (2010), de 63,01% para o lodo da indústria de papel.

O lodo com o menor percentual de materiais voláteis analisado foi o lodo gerado a partir da lavagem de veículos, com valor de 7,22%. Por apresentar um valor muito baixo de material volátil este lodo sofreria dificuldades em entrar em combustão, podendo ser um fator limitante ao seu uso como biomassa para geração de energia térmica a partir da queima.

A análise de cinzas realizada, conforme descreve a metodologia, está apresentada na Tabela 03. Brand (2010) cita que as cinzas são constituídas por todo o material que não queima, tornando-se um resíduo do processo de combustão, dessa forma, altos teores de cinza contribuem para a redução da eficiência do processo, pois não participam da combustão e são contabilizadas na massa do combustível submetido ao processo de queima.

Tabela 03. Teor de cinzas médio das amostras de lodo analisadas.

Lodo	Teor de cinzas médio - A (%)
A - Lavagem de veículos	92,70
B - ETE	28,76
C - Reciclagem de papel	34,27

Fonte: Elaborado pelo autor.

O lodo resultante da lavagem de veículos foi o que apresentou o maior teor de cinzas, com 92,70%, isso significa que quase a totalidade do resíduo analisado não participa do processo de combustão e deduz-se que esse tipo de lodo não é qualificado para uso na geração de energia térmica.

O lodo da indústria de reciclagem de papel exibiu um teor de cinzas de 34,27%, valor próximo do encontrado na literatura de 28,75% (HARUMI IMAI, 2010). Verifica-se também que o teor de cinzas da indústria de reciclagem de papel é ligeiramente maior ao teor de cinzas do lodo da estação de tratamento de esgoto doméstico, com valor de 28,76%.

O teor de cinzas encontrado na literatura para o lodo de esgoto doméstico foi de 47,6% (BORGES; SELLIN; MEDEIROS, 2008) e 53,47% (PASQUINI, 2014), nos quais apresentam maior teor de cinzas do lodo de esgoto doméstico analisado no presente estudo, com 28,76% de teor de cinzas, indicando que o lodo de esgoto doméstico analisado possui uma maior fração de massa que participa do processo de combustão liberando energia.

Outra propriedade estudada, o teor de carbono fixo, é obtida a partir dos valores de teor de cinzas e material volátil e representa a duração da queima da biomassa, quanto maior o teor de carbono fixo mais demorada é a queima resultando em um maior tempo de residência no equipamento (BRAND, 2010). Os teores de carbono fixo das amostras analisadas estão presentes na Tabela 04.

Tabela 04. Teor de carbono fixo das amostras de lodo analisadas.

Lodo	Teor de carbono fixo - F (%)
A - Lavagem de veículos	0,08
B - ETE	9,13
C - Reciclagem de papel	9,05

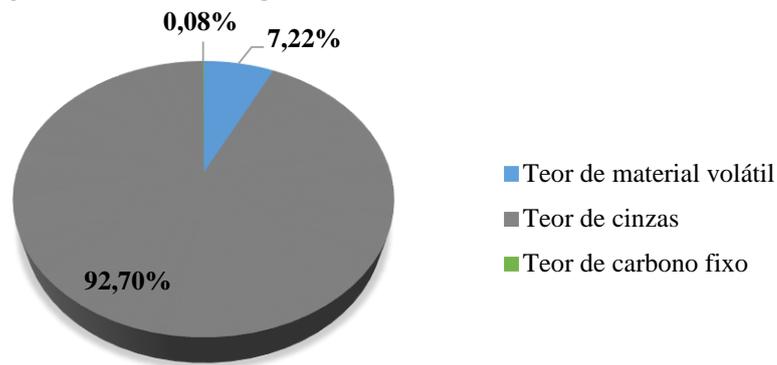
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o teor de carbono fixo do lodo da estação de tratamento de esgoto doméstico e do lodo da indústria de reciclagem de papel apresentaram valores semelhantes, 9,13% e 9,05%, respectivamente. Os valores encontrados se assemelham com os valores da literatura que aponta para o lodo de esgoto doméstico teores de carbono fixo de 9,1% (BORGES; SELLIN; MEDEIROS, 2008) e para o lodo de celulose e papel teores de 10,9% (BORGES; SELLIN; MEDEIROS, 2008) e 8,23% (HARUMI IMAI, 2010).

O baixo teor de carbono fixo do lodo gerado da lavagem de veículos, de 0,08%, associado ao baixo teor de material volátil encontrado demonstra desqualificação para geração de energia térmica a partir de sua queima.

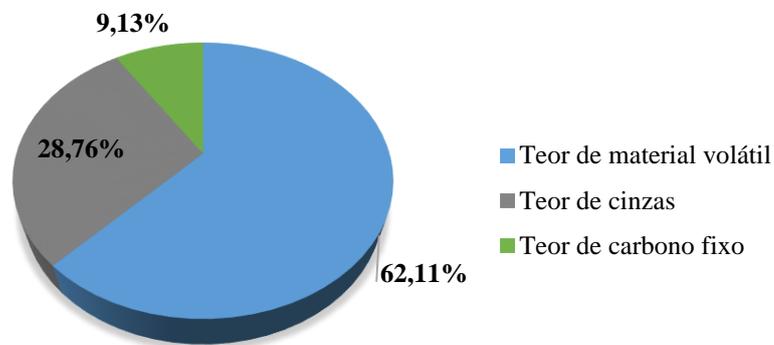
A composição, em base seca, do lodo da lavagem de veículos, lodo da estação de tratamento de esgoto doméstico e lodo da indústria de reciclagem de papel obtidas a partir da análise imediata realizada estão demonstradas nas Figuras 03, 04 e 05, respectivamente.

Figura 03. Composição do lodo da lavagem de veículos em base seca.



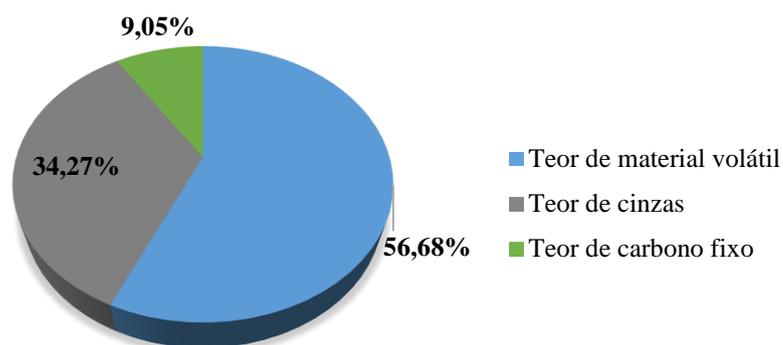
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 04. Composição do lodo da estação de tratamento de esgoto doméstico em base seca.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 05. Composição do lodo da indústria de reciclagem de papel em base seca.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O poder calorífico de uma biomassa é a principal propriedade a ser analisada quando se avalia seu potencial para geração de energia térmica a partir da combustão. De acordo com Brand (2010) o poder calorífico é a quantidade de energia liberada pelo combustível (biomassa) na forma de calor durante a combustão completa. Então quanto maior o seu valor mais qualificado é o combustível para uso na geração de energia térmica. Por meio da correlação

aplicada (Equação 5) utilizando-se os teores obtidos da análise imediata, observam-se os valores do poder calorífico das amostras de lodo em estudo apresentados na Tabela 05.

Tabela 05. Poder Calorífico das amostras de lodo analisadas.

Lodo	Poder Calorífico (MJ.kg ⁻¹)
A - Lavagem de veículos	0,43
B – ETE	12,69
C - Reciclagem de papel	11,77

Fonte: Elaborado pelo autor.

O baixo poder calorífico obtido para o lodo de lavagem de veículos, de 0,43 MJ.kg⁻¹, já era esperado em razão do baixo teor de material volátil, carbono fixo e do alto teor de cinzas encontrados e por se tratar de um resíduo constituído basicamente de solo livre de matéria orgânica. De acordo com o valor encontrado, este resíduo libera uma parcela de energia muito insignificante em forma de calor durante sua combustão.

O lodo da estação de tratamento de esgoto doméstico apresentou o maior poder calorífico dos lodos analisados, com 12,69 MJ.kg⁻¹, seguido do lodo da indústria de reciclagem de papel, no qual apresentou um valor de 11,77 MJ.kg⁻¹.

Na Tabela 06 pode-se comparar o valor do poder calorífico das amostras analisadas com valores encontrados na literatura para resíduos da mesma atividade, onde observa-se que os valores encontrados para o lodo de esgoto doméstico e de reciclagem de papel são menores dos encontrados na literatura, com proximidade para o lodo digerido anaeróbio de Andreoli, von Sperling, Fernandes (2001, *apud* Vieira et al., 2011) que apresentou um poder calorífico de 12,8 MJ.kg⁻¹.

Tabela 06. Poder calorífico de biomassas (lodo) encontradas na literatura.

Biomassa	Poder Calorífico (MJ.kg ⁻¹)	Referência
Lodo doméstico	14,89	Higa Lee; Santos (2011)
Lodo doméstico	20,1	Borges; Sellin; Medeiros (2008)
Lodo de papel e celulose	19,5	Borges; Sellin; Medeiros (2008)
Lodo digerido anaeróbio	12,8	Andreoli, von Sperling, Fernandes (2001, <i>apud</i> Vieira et al., 2011)
Lodo ativado	19,8	Andreoli, von Sperling, Fernandes (2001, <i>apud</i> Vieira et al., 2011)
Lodo de esgoto	22,19	Pasquini (2014)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Deve-se salientar que apesar de serem lodos de mesma atividade, provavelmente o tratamento e a característica do efluente sejam diferentes, influenciando na diferença entre os resultados obtidos no presente trabalho com as bibliografias encontradas. Outra justificativa para possíveis valores extrapolados é que a determinação do poder calorífico de um combustível geralmente é feita por meio de Bombas Calorimétricas, porém neste trabalho utilizou-se a correlação feita por Parikh, Channiwala e Ghosal (2005).

4 CONCLUSÕES

Pela observação das propriedades analisadas conclui-se que o lodo da lavagem de veículos apresentou o menor teor umidade dentre os lodos analisados, porém o alto teor de

cinzas e baixo teor de material volátil e carbono fixo influenciaram para o baixo poder calorífico encontrado, sendo assim, este resíduo não é apto como biomassa para combustão.

O lodo da estação de tratamento de esgoto doméstico apresentou alto teor de material volátil e menor teor de cinzas do encontrado na literatura. Logo as propriedades da análise imediata do lodo da estação de tratamento de esgoto doméstico são mais satisfatórias do que na literatura encontrada e, dentre os lodos estudados, foi a amostra que apresentou as melhores características na análise imediata para o processo de combustão.

O poder calorífico do lodo de esgoto doméstico e do lodo da indústria de reciclagem de papel apresentaram valores muito próximos e propriedades favoráveis para o processo de combustão.

Com a realização deste trabalho pode-se concluir que é de suma importância investigar novas fontes energéticas provenientes dos resíduos, diminuindo o descarte de resíduos com propriedades importantes em virtude da falta de conhecimento adequado e diminuindo a extração de recursos naturais para suprir a demanda energética mundial.

Para o aprofundamento nesse assunto, sugere-se para trabalhos futuros a determinação do poder calorífico das biomassas analisadas utilizando-se equipamentos específicos e comparar com o encontrado pela equação de Parikh, Channiwala e Ghosal (2005), realizar agregados do lodo com outras biomassas em busca de uma melhor eficiência do processo de combustão e identificar os gases liberados pela queima do lodo. Uma possível alternativa para reutilização do lodo da lavagem de veículos a ser estudada é a realização de agregados para a construção civil, tendo em vista a grande quantidade de matéria inorgânica que apresenta.

HEATING VALUE DETERMINATION OF INDUSTRIAL AND HOUSEHOLD SEWAGE SLUDGE FROM PROXIMATE ANALYSIS

ABSTRACT

Some wastes have interesting properties for the energy production if operated properly, it making a sustainable alternative in view of wide industrial development and environmental degradation. The objective of this study was to analyze the energy potential of sludge car washing, sewage sludge and sludge from paper recycling industry. For that, it was determined the moisture content, the volatile matter, ash content, fixed carbon and through a mathematical correlation the biomass heating analyzed. The moisture contents found for the sludge washing vehicles, sewage sludge and sludge from paper recycling industry were 35.49%, 86.70% and 65.90%, respectively. On a dry basis, the sludge of the washing vehicles showed 7.22% of volatile material, 92.70% ash and 0.08% fixed carbon. The sludge from the car washing indicated 62.11% volatile material, 28.76% ash and 9.13% fixed carbon. The sludge from paper recycling industry pointed 56.68% volatile material, 34.27% ash and 9.05% fixed carbon. The sludge from car washing had the lowest heating value 0.43 MJ.kg⁻¹, being disqualified for power generation, while the sewage sludge and the paper industry presented, 12.69 MJ.kg⁻¹ e 11.77 MJ.kg⁻¹, respectively, showing favorable properties for the combustion process to be studied in more depth.

Keywords: Energy potential. Biomass. Sewage sludge. Paper sludge.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8112**: Carvão Vegetal - Análise Imediata. Out. 1986.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Nov. 2004.

ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M.E. **Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis***. Ed. Scientia Florestalis. n. 58, p. 59-72, 2000. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr58/cap05.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

ANDREOLI, C.V. et al. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Abes, 2006. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/historico-de-programa/prosab/produtos>>. Acesso em: 09 abr. 2015.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. [2015?]. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2015.

BORGES, F. **Caracterização e estudo da potencialidade de lodos de efluentes doméstico e industrial como combustível na geração de energia**. 2008. Dissertação (mestrado Engenharia de Processos), UNIVILLE. Joinville: 2008. Disponível em: <http://univille.edu.br/comunidade/mestrado_ep/VirtualDisk.html?action=downloadFile&file=Dissertacao_Fabricio_Borges.pdf¤t=%2FDissertacoes_Turma%20I>. Acesso em: 05 out. 2015.

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S.H.W. **Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia**. Ciência & Engenharia, v. 17, n. 1/2 p. 27 – 32, jan. - dez. 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/download/730/5628>>. Acesso em: 24 abr. 2015.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2014: Relatório Síntese - ano base 2013**. Empresa de Pesquisa Energética - Rio de Janeiro: EPE. 2014. 288 p.. Acesso em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2015.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; OLIVARES GÓMEZ, E. **Biomassa para energia**. Ed. UNICAMP: Campinas, SP, 2008.

COSTA, R.C.; PRATES, C.P.T. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 21, p. 5-30, 2005. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2102.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2015.

DE SENA, R. F. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**. Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102659/213685.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 09 abr. 2015.

FRITZ, A. G. N. C.; VIEIRA, G. E. G.; SANTOS JÚNIOR, R. K. **Reaproveitamento e caracterização do lodo de esgoto para produção de energia renovável**. 2011.

HARUMI IMAI, M. **Aproveitamento energético do lodo de ETEI de indústria de papel no município de Correia Pinto/SC**. Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/124491/204.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

HIGA LEE, E. S., SANTOS, F. J. **Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético**. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, IBEAS. Londrina, 2011. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/X-001.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2015.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Forno a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos**. 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA, UFPR. Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/150-Judith_Von_Paumgarten_Klautau.pdf> Acesso em: 05 out. 2015.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. **A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels**. *Fuel*, v. 84, n. 5, p. 487-494. 2005.

PASQUINI, N.C. **Uso potencial como fonte de energia de lodo proveniente de esgoto doméstico e industrial**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol.16, nº1, Jan/Jun 2014. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/2925>>. Acesso em: 24 abr. 2015.

SAITO, M.L. **O Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos**. Embrapa Meio Ambiente. 1ª edição eletrônica. Jaguariúna, 2007. Disponível em: < http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_64.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2015.

VIEIRA, G. E. G. et al. **O processo de pirólise como alternativa para o aproveitamento do potencial energético de lodo de esgoto – uma revisão**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011. Disponível em: <[http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20\(2011\)/7.%20processo%20de%20pir%F3lise.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20(2011)/7.%20processo%20de%20pir%F3lise.pdf)[http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20\(2011\)/7.%20processo%20de%20pir%F3lise.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20(2011)/7.%20processo%20de%20pir%F3lise.pdf)>. Acesso em: 24 abr. 2015.