

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM INOVAÇÃO
TECNOLÓGICA

Márcio Macedo
Marcelo Bacci da Silva
David Calhau Jorge

SOFTWARE PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
DE BIOMASSAS NA RELAÇÃO CUSTO X EMISSÃO DE
POLUENTES

UBERABA, MG

2013

SOFTWARE PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE BIOMASSAS NA RELAÇÃO CUSTO X EMISSÃO DE POLUENTES

Defesa apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Inovação Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Bacci da Silva

Coorientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge

Uberaba

2013

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

M577s Macedo, Márcio
Software para análise de eficiência energética de biomassas na relação
custo X emissão de poluentes / Márcio Macedo. -- 2013.
70 f. : graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2013.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Bacci da Silva
Coorientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge

1. Biomassa. 2. Energia. 3. Poluentes. 4. Calor-Radiação e absorção. 5.
Software-Desenvolvimento. I. Silva, Marcelo Bacci da. II. Universidade
Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 620.91

MÁRCIO MACEDO

**SOFTWARE PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE
BIOMASSAS NA RELAÇÃO CUSTO X EMISSÃO DE POLUENTES**

Trabalho de conclusão apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 15 de julho de 2013

Banca Examinadora:

Marcelo Bacci da Silva

Prof. Dr. Marcelo Bacci da Silva
Orientador – PMPIT - UFTM

José Roberto Delalibera Finzer

Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer
Membro titular - Universidade de Uberaba – UNIUBE

Wagner Roberto Batista

Prof. Dr. Wagner Roberto Batista
Membro Titular – PMPIT - UFTM

Dedico à minha esposa Dione
e aos meus filhos Daniel e Raquel

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Dione por ser minha principal incentivadora.

A meus filhos, Daniel e Raquel, que de alguma maneira acabaram participando deste projeto.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Marcello Bacci da Silva, sempre disponível, com extrema paciência e boa vontade em ajudar-me em todo o projeto.

Ao meu Coorientador Prof. David Calhau Jorge que, na hora que precisei, demonstrou ser uma pessoa receptiva e prestativa.

Aos demais Professores deste mestrado que se dispuseram a compartilhar seus conhecimentos comigo e meus colegas.

A todos os meus colegas de mestrado, que por diversas vezes contribuíram com suporte técnico e ajudaram durante esta caminhada.

"Se sabe o que fazer para atingir um dado sonho, então não é um sonho
suficientemente grande."

Bob Proctor

RESUMO

MACEDO, Márcio. Software para Análise de Eficiência Energética de Biomassas na Relação Custo X Emissão de Poluentes. Projeto Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG.

A utilização da energia da biomassa é considerada estratégica para o futuro, pois é uma fonte renovável de energia. A falta de análise mais detalhada levando-se em consideração o custo da matéria prima, a eficiência energética e a emissão de poluentes das biomassas resultaram nesta proposta. O objetivo desse trabalho foi definir uma metodologia de avaliação energética para o desenvolvimento de um software que leve em consideração o custo da matéria prima, a eficiência energética e a geração de poluentes e que auxiliará na escolha das biomassas ideais para a geração de energia. Efetua-se um levantamento de dados sobre eficiência energética, emissão de poluentes e os seus respectivos limites de tolerância permitidos pela legislação. A partir destes dados, foram definidas equações para relacionar Eficiência Energética em função de Custo e Emissão de Poluentes que resultam no desenvolvimento de um Software para seleção de biomassas. Espera-se que o software seja útil na seleção das biomassas adequadas a partir do balanceamento entre Eficiência Energética, Custo Aquisição e Emissão de Poluentes, gerando economia para as empresas e preservando o meio ambiente.

Palavras-Chave: biomassa, poluentes, poder calorífico, energia, eficiência energética, software desenvolvimento.

ABSTRACT

Macedo, Márcio. Software to Analyze Biomass Energetic Efficiency on the Relation Costs of Raw Materials X Pollutants Emissions. Project Professional Master in Technological Innovation, Federal University of Triângulo Mineiro, Uberaba-MG.

The use of biomass energy, a renewable source of energy, is a strategic for the future. A detailed analysis including the cost of raw materials, energy efficiency and pollutants emissions of biomass is rarely described into available literature. The aim of this work is to define an energetic available methodology to develop a software program that permits an analysis of the raw material costs, energy efficiency and pollutants emissions influences into the energy generation process by means of a biomass conversion. To develop this methodology a literature review was made including energy efficiency, pollutants emissions and raw material costs. Equations to analyze the influence of energy efficiency, raw material costs and pollutants emissions were developed to use in the software. It is expected that the software will help in choosing the ideal biomass to use in energy generation process in a way that provides economy to industries and preserve the environment.

Keywords: biomass conversion, pollutants emissions, heating value, energy efficiency, specific heat, software development.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Alguns exemplos de PCS (kcal/kg)	3
Figura 2 - Lista de Biomassas	32
Figura 3 - Registrar Biomassa	33
Figura 4 - Poluentes	34
Figura 5 - Registrar Poluente.....	35
Figura 6 - Editar Poluente.....	35
Figura 7 - Editar Biomassa	36
Figura 8 - Calcular.....	37
Figura 9 – Notas adimensionais das biomassas analisadas na consolidação do software.....	40
Figura 10 - Diagrama de Classes – UML.....	47
Figura 11 - Diagrama de Atividade – UML	48
Figura 12 - Diagrama de Caso de Uso - UML	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alguns valores encontrados em revisão bibliográfica.....	15
Tabela 2 – Nota PCI	15
Tabela 3 – Nota PCS	16
Tabela 4 – Nota final poder calorífico.....	16
Tabela 5 – Nota custo	17
Tabela 6 – Nota final custo.....	18
Tabela 7 – Menores valores por poluente e biomassa	18
Tabela 8 – Valores obtidos após divisão de todos os poluentes pelo menor valor.....	19
Tabela 9 – Nível de periculosidade dos gases pelo anexo 11 da NR15	19
Tabela 10 – Fator para “Valor Teto?”	20
Tabela 11 - Fator para “mg/m ³ até 48 horas semanais”	20
Tabela 12 - Fator para “Grau insalubridade”	21
Tabela 13 – Resultado fator para “Grau insalubridade”	21
Tabela 14 – Todos fatores para poluentes	22
Tabela 15 – Fator total para cálculo da nota da NR 15	23
Tabela 16 – Nota parcial poluentes	23
Tabela 17 – Nota total poluentes	24
Tabela 18 – Soma das notas totais dos poluentes.....	24
Tabela 19 – Nota final poluentes	25
Tabela 20 – Nota final poluentes com sinal negativo.....	26
Tabela 21 – Nota resíduo.....	26
Tabela 22 – Nota final resíduo	27
Tabela 23 – Cálculo da nota final das biomassas	28
Tabela 24 – Tabela de Limites de Tolerância.....	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais

PC – Poder Calorífico

PCS – Poder Calorífico Superior

PCI – Poder Calorífico Inferior

UFTM – Universidade Federal do Triângulo Mineiro

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética

BD - Banco de Dados

NR15 – Norma Regulamentadora Nº 15

UFSJ - Universidade Federal de São João Del-Rei

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	4
2.1. OBJETIVO GERAL.....	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. BIOMASSA COMO FONTE ALTERNATIVA.....	5
3.2. CONCENTRAÇÃO DE GASES E METAIS PESADOS NAS BIOMASSAS.....	5
3.3. PROPRIEDADES DAS BIOMASSAS DO LESTE CATARINENSE	5
3.4. PODER CALORÍFICO DE ESPÉCIES FLORESTAIS	6
3.5. ÉPOCA IDEAL DE COLHEITA PARA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL NA GERAÇÃO DE ENERGIA.....	6
3.6. INFLUÊNCIA DA ESTOCAGEM NA QUALIDADE DA BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	7
3.7. DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DE ALGUMAS BIOMASSAS.....	8
3.8. MELHORES MADEIRAS PARA A FABRICAÇÃO DE CARVÃO DESTINADO À SIDERURGIA	8
3.9. INFLUÊNCIA DA CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA NO PODER CALORÍFICO SUPERIOR.....	9
3.10. QUANDO A GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA PODE FORNECER UM SISTEMA ECONOMICAMENTE VIÁVEL	9
3.11. SECAGEM DA BIOMASSA PARA USO ENERGÉTICO.....	10
3.12. SOFTWARES DE BIOMASSAS	10
4. JUSTIFICATIVA	11
5. METODOLOGIA.....	12
5.1. GRUPO PODER CALORÍFICO.....	12
5.2. GRUPO CUSTO.....	13
5.3. GRUPO POLUENTES	13

5.4. GRUPO RESÍDUO.....	14
5.5. DEFINIÇÃO DOS MÉTODOS DOS CÁLCULOS DAS NOTAS	14
5.5.1. Definição do Cálculo da Nota para Poder Calorífico.....	15
5.5.2. Definição do Cálculo da Nota para os Custos.....	17
5.5.3. Definição do Cálculo da Nota para os Poluentes	18
5.5.3.1. Fator para “Valor Teto?”	19
5.5.3.2. Fator para “mg/m ³ até 48 horas semanais”	20
5.5.3.3. Fator para “Grau insalubridade”	21
5.5.3.4. Fator total para cálculo da nota da NR 15	22
5.5.3.5. Cálculo final das notas dos Poluentes	23
5.5.4. Definição do Cálculo das Notas para Resíduos	26
5.5.5. Definição do Cálculo da Nota Final das Biomassas	27
5.6. MATLAB X JAVA	29
5.6.1. O futuro do Java	30
5.6.2. Conclusão por que Java.....	31
5.7. TELAS DO PROGRAMA.....	32
5.7.1. Lista de Biomassas	32
5.7.2. Registrar Biomassa.....	33
5.7.3. Poluentes	34
5.7.4. Registrar Poluente	35
5.7.5. Editar Poluente	35
5.7.6. Editar Biomassa.....	36
5.7.7. Calcular	37
5.8. EQUAÇÃO GERAL.....	38
6. RESULTADOS E DISCURSSÃO	39
7. CONCLUSÃO.....	42
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

9. ANEXOS	47
9.1. FLUXOGRAMAS E DIAGRAMAS	47
9.1.1. Diagrama de Classes – UML	47
9.1.2. Diagrama de Atividade – UML.....	48
9.1.3. Diagrama de Caso de Uso – UML	49
9.2. NR 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES ANEXO N.º 11	50

1. INTRODUÇÃO

A Biomassa é considerada um recurso natural renovável a curto prazo. É constituída principalmente de substâncias de origem orgânica (vegetal, animal, microrganismos). É utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de material orgânico.

A utilização da energia da biomassa é considerada estratégica para a atualidade e futuro, pois é uma fonte renovável de energia.

Mais de um quarto da energia usada no Brasil tem origem vegetal. O Balanço Energético Nacional de 2004 registra que de um uso total de 213 Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo), 58 Mtep eram de biomassa vegetal, distribuídos em partes mais ou menos iguais entre a lenha e a cana-de-açúcar. Cerca de 30% das necessidades energéticas nacionais são supridas pela biomassa sob a forma de lenha, resíduos (bagaço) da cana-de-açúcar, fezes de animais (o biogás, dos biodigestores) e outras fontes (INEE, 2011).

Os recursos renováveis representam cerca de 20% do suprimento total de energia no mundo, sendo 14% proveniente de biomassa e 6% de fonte hídrica. No Brasil, a proporção da energia total consumida é cerca de 35% de origem hídrica e 25% de origem em biomassa, significando que os recursos renováveis suprem algo em torno de 2/3 dos requisitos energéticos do país (Ambiente Brasil S/S Ltda., 2011).

A poluição gerada pela queima da biomassa, como a emissão de gases tóxicos e desprendimento de consideráveis quantidades de calor se transformou atualmente em um grande problema ambiental.

Cada uma dessas biomassas tem propriedades próprias de um combustível e cada uma dessas biomassas é responsável por emissões de gases tóxicos e desprendimento de consideráveis quantidades de calor (PORTAL ENERGIA, 2011).

Há três classes de biomassa: a biomassa sólida, líquida e gasosa. A biomassa sólida tem como fonte os produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), os resíduos das florestas e a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. A biomassa líquida existe em uma série de bicomcombustíveis líquidos com potencial de utilização, todos com origem nas chamadas “culturas energéticas”. São exemplos o biodiesel, obtido a partir de óleo de girassol; o etanol, produzido com a fermentação de hidratos de carbono (açúcar, amido, celulose); e o metanol, gerado pela síntese do gás natural. A biomassa gasosa é encontrada nos efluentes agropecuários provenientes da agroindústria e do meio urbano. É encontrada também nos aterros de RSU (resíduos sólidos urbanos). Estes

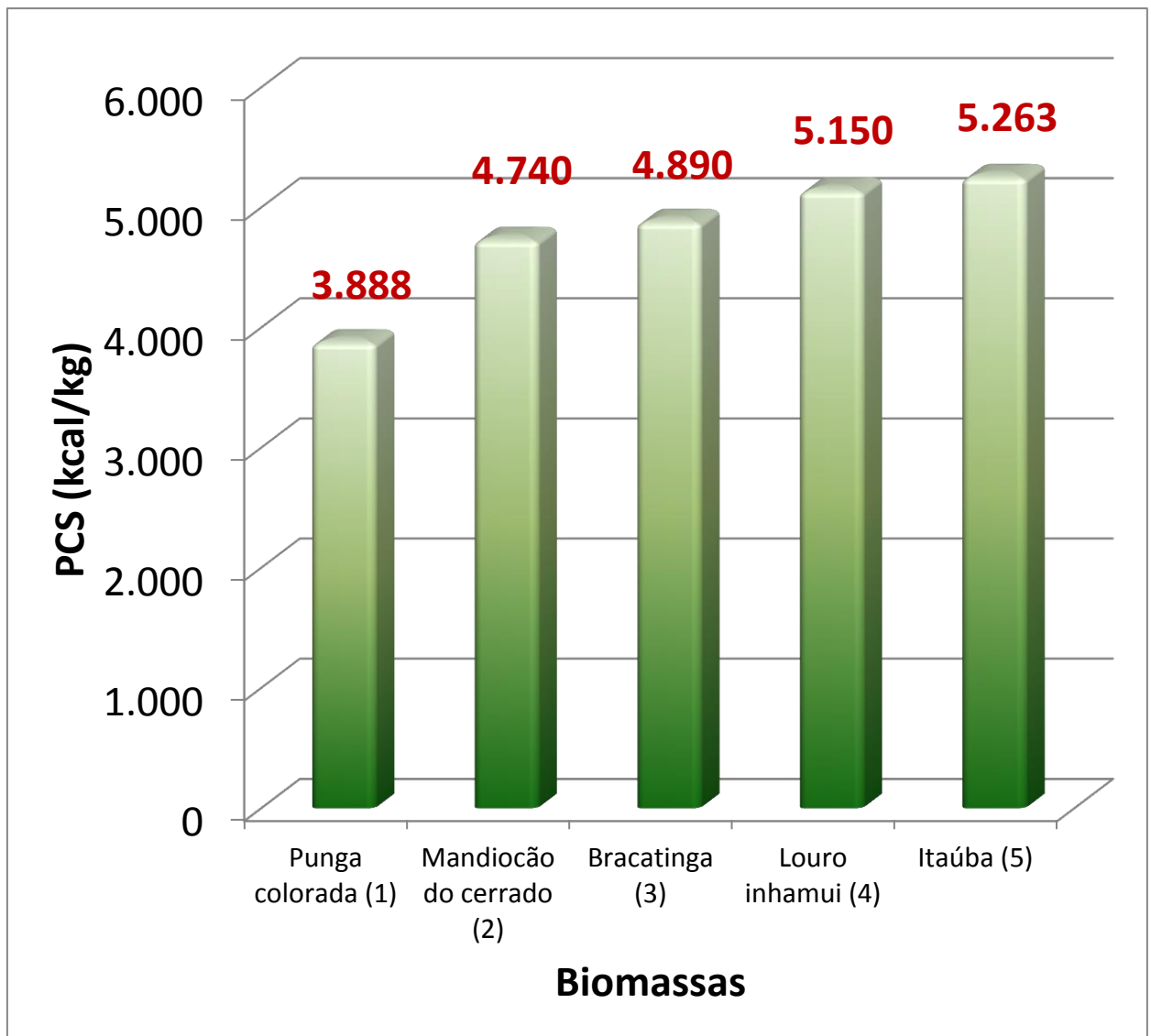
resíduos são resultados da degradação biológica anaeróbia da matéria orgânica, e são constituídos por uma mistura de metano e gás carbônico. Esses materiais são submetidos à combustão para a geração de energia. As vantagens da utilização da Energia de Biomassa são: é uma energia renovável; é pouco poluente; é altamente viável e a resposta às variações de procura é elevada; a biomassa sólida é extremamente barata, sendo as suas cinzas menos agressivas para o ambiente; verifica-se uma menor corrosão dos equipamentos (caldeiras, fornos, etc.). As desvantagens da utilização da Energia de Biomassa são: desflorestamento, além da destruição de habitats; possui um menor poder calorífico quando comparado com outros combustíveis; os biocombustíveis líquidos contribuem para a formação de chuvas ácidas; dificuldades no transporte e no armazenamento de biomassa sólida (PORTAL ENERGIA, 2011).

Neste projeto, está sendo dada mais ênfase a várias vantagens e desvantagens das biomassas como o custo de aquisição, risco para o trabalhador, emissões de gases, poder calorífico, emissão de material particulado para a atmosfera, geração de poluente e transporte e armazenamento.

Segundo Gomide (1979), 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. Existem duas formas de considerar o poder calorífico: Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI). O Poder Calorífico Superior (PCS) é dado pela soma da energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reação de oxidação. O Poder Calorífico Inferior (PCI) é a energia liberada na forma de calor. Assim, o PCS é sempre maior ou igual ao PCI, pois o PCS aproveita a entalpia de condensação da água. O valor de aquecimento ou de poder calorífico de uma substância, geralmente um combustível ou alimentos, é a quantidade de calor liberado durante a combustão de um determinado montante do mesmo. O poder calórico é uma característica para cada substância. É medido em unidades de energia por unidade de substância, tais como: kcal/kg, kJ/kg, J/mol, BTU/m³. Geralmente o calor de combustão de combustíveis é expresso como HHV, PCI, ou GHV.

Como exemplo de valores de poder calorífico, a Figura 1 apresenta os PCS's medidos em kcal/kg para tipos diferentes de biomassa. Na Figura é possível verificar que a madeira com casca tipo Itaúba foi a que apresentou maior PCS.

Figura 1 - Alguns exemplos de PCS (kcal/kg)



(1) Punga colorada - Madeira (2) Mandiocão do cerrado - Briquete de resíduo de madeira misturados com casca de arroz (3) Bracatinga - Casca (4) Louro inhamui - Madeira com casca (5) Itaúba - Madeira com casca

Fonte: o Autor baseado no trabalho "Poder Calorífico da Madeira e de Materiais Ligno-Celulósicos"; QUIRINO. et al, 2002.

Existem diversos fatores que influenciam diretamente ou indiretamente no poder calorífico da biomassa. A umidade é um dos fatores que influenciam muito no poder calorífico.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Elaborar uma metodologia de avaliação energética para o desenvolvimento de um software de auxílio na escolha das biomassas adequadas para a geração de energia.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar um critério de avaliação energética, que leve em consideração: o custo da biomassa, seu poder calorífico, se é resíduo ou não e a geração de poluentes emitidos.
- Economizar os custos de aquisição de biomassas para as empresas.
- Reduzir o índice de gases poluentes na atmosfera.
- Melhorar o meio ambiente, ajudando a preservar árvores e florestas substituindo a utilização delas por resíduos de biomassas.
- Aplicar a NR 15 (Atividades e Operações Insalubres Anexo n.º 11 – Agentes Químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho), usando biomassas que produzem menor quantidade de gases tóxicos, podendo melhorar o ambiente de trabalho para os trabalhadores.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. BIOMASSA COMO FONTE ALTERNATIVA

Segundo McKendry (2002), o uso de fontes renováveis de energia é cada vez mais necessário, se quisermos alcançar as mudanças necessárias para enfrentar os impactos do aquecimento global. A biomassa é a forma mais comum de energia renovável, amplamente utilizado no terceiro mundo, mas até recentemente, menos no mundo ocidental. Muita atenção ultimamente tem sido focada na identificação de espécies adequadas de biomassa, que podem gerar alta energia, para substituir as fontes de energia fósseis convencionais. O tipo de biomassa requerida é determinado pelo processo de conversão de energia e a forma na qual a energia é necessária.

3.2. CONCENTRAÇÃO DE GASES E METAIS PESADOS NAS BIOMASSAS

Obernberger & Gerold (2002) analisaram parâmetros como as dimensões dos combustíveis sólidos, a densidade de partículas, o teor de cinzas e água, o poder calorífico superior e o inferior, a abrasão, o conteúdo de amido (como uma indicação para o uso de agentes biológicos de ligação), as concentrações de C, H, N, S, Cl, K, bem como de metais pesados Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, Hg. Estes parâmetros foram escolhidos seguindo os padrões austríacos, alemães, suíços e suecos para combustíveis de biomassa densificada.

3.3. PROPRIEDADES DAS BIOMASSAS DO LESTE CATARINENSE

Jahn. et al (2008) apresentaram os resultados obtidos na avaliação das propriedades de biomassas do leste catarinense, visando o uso como energético em indústrias da região. Esta caracterização deu-se através de três ensaios: determinação da umidade, densidade a granel e poder calorífico. A biomassa estudada refere-se ao resíduo produzido pelas indústrias madeireiras, fábricas de papel e pelo desbaste e limpeza de florestas. Estas florestas têm como objetivos a produção de madeira e também a produção de energia, sendo cultivadas com gêneros exóticos como o pinus e o eucalipto. Os resultados obtidos mostram um padrão médio para cada região estudada, e algumas peculiaridades.

3.4. PODER CALORÍFICO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Quirino. et al (2005) realizaram um trabalho visando atender as inúmeras consultas efetuadas ao IBAMA/LPF sobre poder calorífico de espécies florestais. Executou-se um levantamento bibliográfico dos valores de poder calorífico disponíveis na literatura e alguns calculados pelo IBAMA/LPF. De posse destes dados, elaborou-se duas tabelas, uma com poder calorífico superior e densidade básica e outra apenas com poder calorífico superior de espécies florestais. Adicionalmente foram efetuadas algumas considerações que se julga de interesse para o usuário destas informações.

3.5. ÉPOCA IDEAL DE COLHEITA PARA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL NA GERAÇÃO DE ENERGIA

Brand & Muñiz (2010) elaboraram um trabalho em Lajes, SC, cujo objetivo foi o de determinar a época ideal de colheita para a utilização da biomassa florestal na geração de energia. Suas conclusões quanto à época de colheita são:

a) a época de colheita tem influência sobre o teor de umidade, solubilidade em hidróxido de sódio e poder calorífico inferior, não tendo influência sobre o poder calorífico superior, solubilidade em água fria, quente e teor de cinzas;

b) nas épocas de primavera e verão, estações de desenvolvimento das árvores foram obtidos os menores teores de umidade; maiores poder calorífico inferior e com tendência de maior poder calorífico superior, maior quantidade de extrativos e maior teor de cinzas na madeira com casca;

c) as melhores épocas para a colheita são a primavera e verão;

d) o conjunto das propriedades avaliadas indica que o desempenho energético da biomassa colhida na primavera e verão será melhor;

e) o uso da biomassa na forma recém colhida não é indicada, pois mesmo nas melhores condições, as propriedades da biomassa conferirão à mesma, tem baixo desempenho energético.

Suas conclusões quanto à época de estocagem são:

a) A época de estocagem tem influência sobre o teor de umidade, solubilidade em água fria, quente e hidróxido de sódio e poder calorífico inferior, não tendo influência somente sobre o poder calorífico superior e teor de cinzas;

b) A época de outubro a maio apresentou os maiores valores médios de solubilidade em água quente e em hidróxido de sódio, enquanto a época de agosto a fevereiro identificou-se o menor valor médio de teor de umidade, e maior valor médio de poder calorífico inferior. A época de maio a novembro observou-se os maiores valores médios de solubilidade em água fria e poder calorífico superior e o menor valor médio de teor de cinzas.

c) O conjunto de todas as propriedades indica que as melhores épocas de estocagem são entre outubro a maio e entre agosto a fevereiro. Em síntese, é desaconselhável estocar em março e abril.

d) Se a biomassa florestal for colhida ao final do inverno ou primavera e permanecer sob estocagem durante o verão terá melhor desempenho na geração de energia.

As várias opções de biomassa disponíveis hoje para geração de energia são selecionadas levando-se em consideração principalmente o custo de cada uma delas. Neste trabalho foram analisados não apenas o custo, mas também os fatores que influenciam direta ou indiretamente na eficiência energética da biomassa e a geração de poluentes de cada uma. Foi criada uma análise mais detalhada, levando-se em consideração, além do custo da matéria-prima, o poder calorífico, se é biomassa de resíduo ou não e a emissão de poluentes na natureza.

3.6. INFLUÊNCIA DA ESTOCAGEM NA QUALIDADE DA BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

Brand (2007) afirma que a estocagem é parte integrante do pré-tratamento da biomassa para o uso na geração de energia, tendo como objetivo melhorar as propriedades físicas e químicas da biomassa florestal. Concluiu-se que a época de colheita e estocagem, o tempo de estocagem, a espécie e o tamanho e forma da biomassa influenciam nas propriedades físicas e químicas da biomassa sob armazenamento, em maior ou menor intensidade. O tempo ideal de estocagem varia de dois meses em épocas mais favoráveis do ano (primavera e verão) a quatro meses em épocas menos favoráveis (outono e inverno). As melhores épocas para a colheita da biomassa são a primavera e verão, e as piores são o inverno e outono, respectivamente. As melhores épocas de estocagem são entre outubro e maio e entre agosto e fevereiro. Portanto, na região de estudo, para um maior rendimento energético, a biomassa deve ser colhida no final do inverno ou primavera e permanecer sob estocagem durante o verão. O material que teve melhor comportamento durante a estocagem foi a costaneira de

Pinus, sendo também o material mais heterogêneo. As toras de *Pinus* tiveram o pior comportamento. De forma geral, o tamanho e forma do material tiveram maior influência sobre o comportamento da biomassa na estocagem que a espécie.

3.7. DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DE ALGUMAS BIOMASSAS

Diniz. et al (2004) determinaram o poder calorífico superior (PCS) das biomassas: casca de arroz, caroço de pêssgo, serragem de eucalipto e dos bioóleos e resíduos carbonosos correspondentes, obtidos por conversão térmica a baixa temperatura. Rendimentos de bioóleo entre 16% e 26%, e, de resíduo carbonoso, entre 38% e 48%, foram obtidos na pirólise. Valores de Poder Calorífico de 3.900, 2.600 e 4.100 cal/g foram medidos para a casca de arroz, carvão de casca de arroz e óleo de pirólise; 4.100, 5.800 e 4.000 cal/g, para serragem de eucalipto, carvão de eucalipto e óleo de pirólise; 3.400, 3.200 e 3.900 cal/g, para caroço de pêssgo, carvão do caroço e bioóleo, respectivamente. Estes valores indicam, segundo os autores, que as biomassas e os seus produtos de pirólise podem ser considerados fontes renováveis de energia limpas.

3.8. MELHORES MADEIRAS PARA A FABRICAÇÃO DE CARVÃO DESTINADO À SIDERURGIA

Segundo Brito. et al (1978), conforme é do conhecimento daqueles que frequentemente estão envolvidos com atividades de produção e uso de carvão vegetal, existem poucos trabalhos relativos às correlações entre as características da madeira e qualidade do produto obtido. Dos trabalhos existentes alguns mostram correlações positivas entre as composições químicas da madeira e do carvão, particularmente entre teor de lignina e teor de carbono fixo, conforme observado BRITO & BARRICHELO (1974). Com referência às propriedades físicas da madeira e do carvão, destacaram uma série de correlações específicas para madeiras de florestas naturais tropicais. Correlação bastante forte foi encontrada entre a densidade da madeira e a densidade do carvão, o que levou os autores a afirmar que para a fabricação de carvão destinado à siderurgia deve-se de preferência escolher madeiras densas e compactas.

3.9. INFLUÊNCIA DA CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA NO PODER CALORÍFICO SUPERIOR

Segundo Jara (1989), o poder calorífico superior da madeira, além da umidade, está muito influenciado pela constituição química da madeira, principalmente a lignina e extrativos (resinas, óleos-resinas, matérias graxas e óleos). Desta maneira, as coníferas que apresentam um conteúdo de resinas e lignina maior que as latifoliadas ostentam conseqüentemente um maior poder calorífico superior, que varia também conforme a parte da árvore que esteja em combustão (casca, nós, ramos, madeira do toco).

3.10. QUANDO A GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA PODE FORNECER UM SISTEMA ECONOMICAMENTE VIÁVEL

Segundo Rajvanshi (1986), a agricultura moderna é uma atividade que usa intensivamente energia. Altas produtividades agrícolas e, posteriormente, o crescimento da revolução verde foi possível devido a grande quantidade de insumos energéticos, principalmente os de combustíveis fósseis. Com aumento recente dos preços e escassez desses combustíveis tem havido uma tendência para a utilização de fontes alternativas de energia, como a eólica, solar e geotérmica. No entanto, estes recursos energéticos não tem sido capazes de oferecer uma solução economicamente viável para aplicações agrícolas. Um sistema baseado em energia de biomassa provou, durante a Segunda Guerra Mundial, ser confiável e foi amplamente utilizado para o transporte e em sistemas agrícolas. Uma vez que todo o material de biomassa pode ser submetido a gaseificação, este material é muito mais atraente do que a produção de biogás ou de etanol, onde os materiais de biomassa selecionados apenas podem produzir o combustível. Além disso, existe um problema de que os resíduos sólidos (disponível na exploração) são raramente de uma forma que possa ser prontamente utilizada economicamente. Em muitas situações em que o preço dos combustíveis de petróleo é alto ou onde o abastecimento não é confiável a gaseificação de biomassa pode fornecer um sistema economicamente viável - desde que a matéria-prima de biomassa adequada seja facilmente disponível (como é certamente o caso em sistemas agrícolas).

3.11. SECAGEM DA BIOMASSA PARA USO ENERGÉTICO

T.G. Jahn. et al (2008) afirmam que na secagem da biomassa para uso energético o custo da secagem deve ser considerado, bem como o ganho respectivo no aumento de poder calorífico. Em alguns processos a biomassa não necessita estar totalmente seca para o consumo, sendo que a consideração de custo da secagem final se torna pertinente.

3.12. SOFTWARES DE BIOMASSAS

Segundo Diamantopoulou. et al (2011), o enorme leque de matérias-primas potenciais, o grande número de processos possíveis de pré-tratamento, hidrólise e os diversos tipos de custos (fixo, variável), normalmente expressa em diferentes (até mesmo, às vezes, incompatíveis) base, promovem uma avaliação altamente complicado. Uma abordagem de mapeamento uniforme, combinando muitas variáveis quase independentes dentro de um único sistema, irá reduzir a complexidade da avaliação de custos e respectivo processo de tomada de decisão. Neste contexto, a criação de uma ferramenta que será usada para comparação de custo eficiente de diferentes matérias-primas de biomassa em biocombustíveis e cadeias de fornecimento, levará à tomada de decisão racional e é considerada como uma questão de grande importância.

4. JUSTIFICATIVA

O trabalho proposto se justifica em virtude da carência de estudos sobre o tema em específico. Desta forma, este trabalho corrobora com uma metodologia cujos resultados esperados após a aplicação a um sistema poderão ser:

- Avaliação energética, levando-se em consideração o custo da biomassa, seu poder e capacidade calorífica, se emite resíduo ou não e a geração de poluentes emitidos de cada uma;
- Economia nos custos de aquisição de biomassas;
- Redução do índice de gases poluentes na atmosfera, melhorando o meio ambiente;
- Preservação de árvores e florestas substituindo a queima por resíduos de biomassas;
- Aplicação da NR 15 (Atividades e Operações Insalubres Anexo n.º 11 – Agentes Químicos cuja Insalubridade é Caracterizada por limite de Tolerância e Inspeção no Local de trabalho), usando biomassas que produzem menor quantidade de gases tóxicos, podendo melhorar o ambiente de trabalho para os funcionários.

5. METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento na literatura sobre o que existe de mais atual para o cálculo do “Poder Calorífico de Combustíveis” e sobre a emissão de poluentes por biomassa e os limites permitidos/aceitáveis;

A partir do custo específico de cada biomassa pesquisada, foram definidas as melhores equações para cálculo da Eficiência Energética X Custo X Emissão de Poluentes de cada biomassa;

Foi desenvolvido um algoritmo com essas equações;

Foi desenvolvido um Software que contém o algoritmo e um banco de dados que permite:

- Cadastrar o custo de aquisição de cada combustível;
- Cadastrar a eficiência energética de cada biomassa (poder calorífico de cada uma);
- Cadastrar a emissão de poluentes de cada biomassa;
- Relacionar a eficiência energética de cada biomassa (poder calorífico de cada uma);
- Relacionar Eficiência Energética X Custo Aquisição X Emissão de Poluentes;
- Propor as melhores seleções a partir desta análise.

Este programa será usado para realizar uma avaliação da eficiência energética de biomassas que apresentam caracterizações físicas disponíveis para consulta. Para a avaliação da eficiência energética, todas as informações que caracterizam as biomassas serão devidamente armazenadas em um banco de dados do programa desenvolvido.

Para conseguir realizar uma comparação adequada das biomassas disponíveis, este trabalho irá considerar quatro grupos de variáveis referentes às biomassas e a razão entre os valores respectivos dessas variáveis. A razão entre os valores das variáveis é uma forma de realizar uma comparação de duas grandezas, no entanto, para isto é necessário que as duas grandezas estejam na mesma unidade de medida. Sabe-se que a razão entre dois números a e b é obtida dividindo-se a por b . Obviamente b deve ser diferente de zero.

Os quatro grupos de variáveis que serão considerados no trabalho são:

5.1. GRUPO PODER CALORÍFICO

Neste grupo, poderá ser utilizado o Poder Calorífico Superior e/ou Poder Calorífico Inferior das biomassas, desde que para todas as biomassas sejam avaliados o mesmo tipo de poder calorífico e que a unidade de medida deles seja a mesma. Para calcular a razão entre os

valores do poder calorífico, o menor valor do poder calorífico será identificado e a razão referente a cada uma das biomassas analisadas será calculada dividindo os respectivos valores pelo menor valor encontrado. Com isto, obtêm-se notas que poderá variar de um até o infinito. Como o poder calorífico é um atributo onde quanto maior for o valor melhor é a biomassa em termos energéticos e este terá o sinal positivo. O poder calorífico exprime-se em joules por unidade de massa do combustível. As unidades mais comuns para o poder calorífico são kJ/kg e kcal/kg.

5.2. GRUPO CUSTO

Neste grupo, poderá ser utilizado o custo da biomassa por unidade de massa, desde que para todas as biomassas a unidade de massa seja a mesma. Neste grupo, será permitido que biomassas tenham os custos iguais a zero. Para calcular a razão entre os números desse grupo, o menor valor diferente de zero será identificado e a razão para cada valor será calculada dividindo os respectivos valores pelo menor valor diferente de zero. Com isto, obtêm-se notas que poderão variar de zero (caso o valor lançado seja igual a zero) até o infinito. Como o custo é um atributo onde quanto maior o valor maior é a desqualificação da biomassa, esta nota terá o sinal negativo. As unidades mais comuns para o custo são R\$/t, R\$/m³, U\$/t e U\$/m³.

5.3. GRUPO POLUENTES

Neste grupo, poderá ser utilizado qualquer agente poluente emitido pela biomassa que conste na NR 15 - Atividades e Operações Insalubres Anexo n.º 11 – Agentes Químicos cuja Insalubridade é Caracterizada por limite de Tolerância e Inspeção no Local de trabalho, desde que, para todas as biomassas a unidade de medida seja a mesma. Quanto mais agentes poluentes forem analisados pelo programa, melhor será o processo de escolha da biomassa. Neste grupo, será permitido que biomassas tenham os seus valores respectivos de agentes poluentes iguais a zero. Para calcular a razão entre os números, o menor valor diferente de zero será identificado e a razão para cada valor será calculada dividindo os respectivos pelo menor valor diferente de zero. Com isto, obtêm-se notas que poderão variar de zero (caso o valor lançado do agente poluente seja igual a zero) até o infinito. Também neste grupo são definidos três fatores baseados na concentração do agente poluente e no grau de insalubridade dele, conforme a NR15. Se o “Valor Teto” for considerado na tabela da norma para este poluente, o primeiro fator receberá o valor dois, senão ele ficará com o valor igual a um. Quanto menor a concentração do agente poluente para tornar o ambiente insalubre, maior será

o valor do segundo fator, sendo que este valor será definido pelo programa gerando uma escala de valores de acordo com a quantidade de biomassas que estão sendo comparadas. O terceiro fator terá o valor zero, um, dois ou três conforme o respectivo Grau de insalubridade: não informado, mínimo, médio ou máximo. Uma vez calculado os três fatores, eles serão multiplicados entre si e o produto final destes fatores será multiplicado pelas respectivas notas de cada agente poluente. Após este procedimento, será feita a média entre as notas de todos os agentes poluentes. Como agentes poluentes é um atributo onde quanto maior for o valor maior é a desqualificação da biomassa, esta nota terá o sinal negativo. As unidades mais comuns para os agentes poluentes são %, mg/kg, ppm e mg/m³.

5.4. GRUPO RESÍDUO

Neste grupo, será informado “sim” ou “não” se a matéria prima de biomassa for de resíduo ou não. Caso seja um resíduo ela receberá a nota um, senão receberá a nota zero. Com isto, obtêm-se para este grupo notas que poderão variar de zero (caso a matéria prima da biomassa não seja um resíduo) ou um (caso a matéria prima da biomassa seja um resíduo). Como ser um resíduo de biomassa significa aproveitamento e menos destruição da natureza, esta nota terá o sinal positivo.

A nota final referente aos quatro grupos analisados será o resultado da soma das notas dos quatro grupos para cada biomassa e, então, a biomassa sugerida para uso pelo programa será a que tiver a maior nota final. Pelo menos um dos quatro grupos deverá ser lançado para que o programa possa fazer algum tipo de comparação.

Caso mais de uma biomassa consiga a maior nota final, o programa informará quais são elas e sugerirá a entrada de mais parâmetros a serem avaliados nos grupos para o desempate.

5.5. DEFINIÇÃO DOS MÉTODOS DOS CÁLCULOS DAS NOTAS

Para demonstrar-se como definiu-se as fórmulas, será utilizado com exemplo de três Biomassas:

- Casca de Arroz
- Bagaço de Cana
- Palha de Trigo

De acordo com o planejamento necessita-se das seguintes informações destas biomassas:

Poder calorífico superior, poder calorífico inferior, custo de aquisição, quais os poluentes que estas biomassas produzem e que constam na NR 15 – Anexo N° 11, o percentual de cada um destes poluentes produzidos na queima e se consiste em resíduo ou não.

Em uma revisão bibliográfica obteve-se os valores descritos na Tabela 01:

Tabela 1 – Informações obtidas sobre biomassas

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
PCI (kcal/kg)	3.384,09	3.200,00	3.200,00
PCS (kcal/kg)	3.770,00	3.700,00	3.570,00
Custo (R\$/tonelada)	70,00	30,00	230,00
Poluentes			
CO (%)	16,10	16,50	15,50
CO₂ (%)	0,00	13,00	12,50
CH₄ (%)	0,95	0,00	0,00
Pb (%)	0,00	0,00	0,00
Resíduo?	Sim	Sim	Sim

Fonte: O Autor baseado nas fontes “Poder Calorífico da Madeira e de Materiais Ligno-Celulósicos” e “ECN-Biomass”

Das informações acima, os valores do custo variam de acordo com a época em que são coletados, pois dependem diretamente dos preços praticados pelo mercado.

5.5.1. Definição do Cálculo da Nota para Poder Calorífico

Para efetuar-se o cálculo da nota para o poder calorífico, analisa-se todos os valores em busca do menor. No caso do PCI o menor valor é o de 3.200,00 kcal/kg tanto para o Bagaço de Cana para a Palha de Trigo. A seguir, dividi-se todos os PCI pelo menor valor. O resultado está indicado na Tabela 2.

Tabela 2 – Nota PCI

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota PCI	1,0575	1,0000	1,0000

Fonte: O Autor

No caso do PCS o menor valor é 3.570,00 kcal/kg para a Palha de Trigo. A seguir, dividi-se todos os PCS pelo menor valor. O resultado está relatado na Tabela 3.

Equação 1:

$$nPCI = \frac{PCI}{mPCI}$$

Onde,

$nPCI$ = nota do poder calorífico inferior

PCI = poder calorífico inferior

$mPCI$ = menor poder calorífico inferior

Tabela 3 – Nota PCS

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota PCS	1,0560	1,0364	1,0000

Fonte: O Autor

Usando as notas parciais do PCI e PCS quantifica-se a média aritmética entre as duas notas e encontra-se a nota final do Poder Calorífico, O resultado está indicado na Tabela 4.

Equação 2:

$$nPCS = \frac{PCS}{mPCS}$$

Onde,

$nPCS$ = nota do poder calorífico inferior

PCS = poder calorífico inferior

$mPCS$ = menor poder calorífico inferior

Tabela 4 – Nota final poder calorífico

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota Final Poder			
Calorífico	1,0568	1,0182	1,0000

Fonte: O Autor

Equação 3:

$$nFPC = \frac{nPCI + nPCS}{2}$$

Onde,

$nFPC$ = nota final do poder calorífico

PCS = nota do poder calorífico inferior

$mPCS$ = nota do poder calorífico superior

5.5.2. Definição do Cálculo da Nota para os Custos

Para efetuar-se o cálculo da nota para os custos, analisa-se os valores para selecionar o menor.

No caso de valor zero, ele é ignorado e buscamos o próximo valor, em ordem crescente.

O menor custo é o de 30,00 (R\$/t) para o Bagaço de Cana. A seguir, dividimos todos os custos pelo menor valor. O resultado está retratado na Tabela 5.

Tabela 5 – Nota custo

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota Custo	2,3333	1,0000	7,6667

Fonte: O Autor

Como o custo, diferente do poder calorífico, é uma categoria que quanto maior a nota pior para a Biomassa e adotou-se o sinal negativo para este valor. O resultado está indicado na Tabela 6.

Equação 4:

$$nC = \frac{VC}{mVC}$$

Onde,

nC = nota do custo

VC = valor do custo

mVC = menor valor do custo

Tabela 6 – Nota final custo

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota Final Custo	-2,3333	-1,0000	-7,6667

Fonte: O Autor

Equação 5:

$$nFC = nC * -1$$

Onde,

nFC = nota final do custo

nC = nota do custo

5.5.3. Definição do Cálculo da Nota para os Poluentes

Para efetuar-se o cálculo da nota para os poluentes, analisa-se os valores em busca do menor. No caso de valor zero, ele é ignorado e busca-se o próximo valor, em ordem crescente.

Os menores valores por poluente e biomassa são mostradas na Tabela 7.

Tabela 7 – Menores valores por poluente e biomassa

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
CO (%)			15,50
CO₂ (%)			12,50
CH₄ (%)	0,95		
Pb (%)			

Fonte: O Autor baseado no trabalho “Biomass Gasification”

A seguir, dividi-se todos os poluentes pelo menor valor. O resultado está mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores obtidos após divisão de todos os poluentes pelo menor valor

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota parcial CO	1,0387	1,0645	1,0000
Nota parcial CO₂	0,0000	1,0400	1,0000
Nota parcial CH₄	1,0000	0,0000	0,0000
Nota parcial Pb	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: O Autor

A seguir, analisa-se o anexo 11 da NR15 para determinar o nível de periculosidade dos gases e quantificar as notas, a partir destes níveis. O resultado está retratado na Tabela 9.

Equação 6:

$$nPP = \frac{qP}{mQP}, \text{ onde } mQP \neq 0$$

Onde,

nPP = nota parcial do poluente

Qp = quantidade do poluente

mQP = menor quantidade de poluente

Tabela 9 – Nível de periculosidade dos gases pelo anexo 11 da NR15

Poluentes	Valor Teto?	mg/m³ até 48 horas semanais	Grau insalubridade
CO	Não	43	Máximo
CO₂	Não	7020	Mínimo
CH₄	Não	0,0	Não definido
Pb	Não	0,1	Máximo

Fonte: O Autor baseado na Norma Regulamentadora N° 15

Criamos fatores para cada uma destas colunas.

5.5.3.1. Fator para “Valor Teto?”

Este fator será de 1,0000 para os poluentes que não possuem Valor Teto e de 2,0000 caso eles possuem Valor Teto. Neste exemplo, como todos os poluentes na NR 15 possuem

Valor Teto igual a “Não”, todos os poluentes ficarão com este fator igual a 1,0000. O resultado está retratado na Tabela 10.

Tabela 10 – Fator para “Valor Teto?”

Poluentes	Valor Teto?	Fator
CO	Não	1
CO₂	Não	1
CH₄	Não	1
Pb	Não	1

Fonte: O Autor baseado na Norma Regulamentadora Nº 15

Equação 7:

$$fT = \begin{cases} Teto\ sim = 2 \\ Teto\ não = 1 \end{cases}$$

Onde,

fT = fator valor teto

5.5.3.2. Fator para “mg/m³ até 48 horas semanais”

Este fator será pontuado de acordo com a ordem decrescente do valor “mg/m³ até 48 horas semanais”.

No caso de valor zero, o fator também será zero. Assim sendo, teremos 0,0000 para o valor 0,0; 3,0000 para o valor 0,1; 2,0000 para o valor 43 e 1,0000 para o valor de 7.020. Caso houvesse valores iguais eles receberiam o mesmo fator. O resultado está retratado na Tabela 11.

Tabela 11 - Fator para “mg/m³ até 48 horas semanais”

Poluentes	mg/m³ até 48 horas semanais	Fator
CO	43	2
CO₂	7020	1
CH₄	0	0
Pb	0,1	3

Fonte: O Autor baseado na Norma Regulamentadora Nº 15

Equação 8:

$$f_{48} = \begin{bmatrix} 0 = 0 \\ maior = 1 \\ intermediário = 2 \\ menor valor \neq 0 = 3 \end{bmatrix}$$

Onde,

f_{48} = fator mg/m^3 até 48 horas semanais

5.5.3.3. Fator para “Grau insalubridade”

Este fator será pontuado de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 - Fator para “Grau insalubridade”

Grau insalubridade	Fator
Não Definido	0,0000
Mínimo	1,0000
Médio	2,0000
Máximo	3,0000

Fonte: O Autor baseado na Norma Regulamentadora N° 15

O resultado está relatado na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultado fator para “Grau insalubridade”

Poluentes	Grau insalubridade	Fator
CO	Máximo	3
CO₂	Mínimo	1
CH₄	Não definido	0
Pb	Máximo	3

Fonte: O Autor baseado na Norma Regulamentadora N° 15

Equação 9:

$$fI = \begin{bmatrix} \text{n\~{a}o definido} = 0 \\ \text{m\~{i}nimo} = 1 \\ \text{m\~{e}dio} = 2 \\ \text{m\~{a}ximo} = 3 \end{bmatrix}$$

Onde,

fI = fator para grau insalubridade

5.5.3.4. Fator total para cálculo da nota da NR 15

Considerando todos os fatores ter-se-á resultado relatado na Tabela 14.

Tabela 14 – Todos fatores para poluentes

Poluentes	Valor Teto?	Fator Valor Teto?	mg/m ³ até 48 horas semanais	Fator mg/m ³ até 48 horas semanais	Grau insalubridade	Fator Grau insalubridade
CO	Não	1	43	2	Máximo	3
CO₂	Não	1	7020	1	Mínimo	1
CH₄	Não	1	0	0	Não definido	0
Pb	Não	1	0,1	3	Máximo	3

Fonte: O Autor baseado na Norma Regulamentadora N° 15

Para calcular o fator total para cálculo da nota da NR 15 multiplicam-se todos os fatores. O resultado está mostrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Fator total para cálculo da nota da NR 15

Poluentes	Valor Teto?	mg/m ³ até 48		Fator Total NR-15
		horas semanais	Grau insalubridade	
Fator CO	1,0000	2,0000	3,0000	6,0000
Fator CO₂	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Fator CH₄	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fator Pb	1,0000	3,0000	3,0000	9,0000

Fonte: O Autor

Equação 10:

$$fTNR = fVT * fHS * fGI$$

onde,

fTNR = fator total NR-15

fVT = fator valor teto

fHS = fator mg/m³ até 48 horas semanais

fGI = fator grau insalubridade

5.5.3.5. Cálculo final das notas dos Poluentes

Calculada as notas parciais dos poluentes e os fatores totais da NR-15, multiplicam-se as notas parciais pelos fatores e conseguem-se as notas finais dos poluentes. O resultado está mostrado na Tabela 16.

Tabela 16 – Nota parcial poluentes

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo	Fator Total NR-15
Nota parcial CO	1,0387	1,0645	1,0000	6,0000
Nota parcial CO₂	0,0000	1,0400	1,0000	1,0000
Nota parcial CH₄	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Nota parcial Pb	0,0000	0,0000	0,0000	9,0000

Fonte: O Autor

Multiplicando o Fator Total NR-15 pelas notas parciais encontra-se o resultado mostrado na Tabela 17.

Tabela 17 – Nota total poluentes

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota total CO	6,2322	6,3870	6,0000
Nota total CO₂	0,0000	1,0400	1,0000
Nota total CH₄	0,0000	0,0000	0,0000
Nota total Pb	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: O Autor

O próximo passo é somar as notas dos poluentes por biomassa. O resultado está mostrado na Tabela 18.

Equação 11:

$$nTP = NPP * fTNR$$

onde,

nTP = nota total poluente

nPP = nota parcial poluente

$fTNR$ = fator total NR-15

Tabela 18 – Soma das notas totais dos poluentes

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota total CO	6,2322	6,3870	6,0000
Nota total CO₂	0,0000	1,0400	1,0000
Nota total CH₄	0,0000	0,0000	0,0000
Nota total Pb	0,0000	0,0000	0,0000
Nota Total Poluentes	6,2322	7,4270	7,0000

Fonte: O Autor

O próximo passo é dividir as “Notas Total Poluentes” pela quantidade total de poluentes. Neste exemplo, como estudou-se quatro poluentes, dividi-se as notas por quatro. O resultado está mostrado na Tabela 19.

Equação 12:

$$nTPS = \sum_{i=1}^r nTP$$

onde,

$nTPS$ = nota total poluentes

nTP = nota total poluente

r = quantidade de poluentes

Tabela 19 – Nota final poluentes

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota Total Poluentes	6,2322	7,4270	7,0000
Nota Final Poluentes	1,5581	1,8568	1,7500

Fonte: O Autor

Como os poluentes, diferente do poder calorífico, é uma categoria que quanto maior a nota pior para a Biomassa nós adotamos o sinal negativo para esta nota. O resultado está retratado na Tabela 20.

Equação 13:

$$nFPS = \frac{nTPS}{r}$$

onde,

$nFPS$ = nota final dos poluentes

$nTPS$ = nota total dos poluentes

r = quantidade de poluentes

Tabela 20 – Nota final poluentes com sinal negativo

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota Final Poluentes	-1,5581	-1,8568	-1,7500

Fonte: O Autor

Equação 14:

$$nFPS = nFPS * - 1$$

onde,

$nFPS$ = nota total poluentes

5.5.4. Definição do Cálculo das Notas para Resíduos

Caso a Biomassa seja um resíduo ela têm nota superior comparando se ela fosse uma matéria prima original. Adotando a Tabela 21 com as notas para esta categoria.

Tabela 21 – Nota resíduo

	É resíduo?	
	Sim	Não
Nota Resíduo	1,0000	0,0000

Fonte: O Autor

No exemplo, Casca de Arroz, Bagaço de Cana e Palha de Trigo são todas resíduos. O resultado está mostrado na Tabela 22.

Equação 15:

$$nR = \begin{cases} \text{é resíduo} = 1 \\ \text{não é resíduo} = 0 \end{cases}$$

Onde,

nR = nota resíduo

Tabela 22 – Nota final resíduo

	Casca de Arroz	Bagaço de Cana	Palha de Trigo
Nota Final Resíduo	1,0000	1,0000	1,0000

Fonte: O Autor

5.5.5. Definição do Cálculo da Nota Final das Biomassas

Uma vez tendo as notas das quatro categorias (Poder Calorífico, Custo, Poluentes e Resíduo) o sistema permite que o usuário defina um peso (percentual de importância) para cada categoria, baseado em suas convicções. A soma destes percentuais tem que ser sempre igual a 100%. O sistema multiplica as notas por este percentual e por quatro e soma as notas. No nosso exemplo considera-se que todas as categorias tem o mesmo fator de importância, ou seja, 25% para cada. Multiplicando os percentuais (25%) por quatro teremos o resultado igual a um o que, neste caso, mantém as notas finais das biomassas sem alterações. O resultado está retratado na Tabela 23.

Tabela 23 – Cálculo da nota final das biomassas

	%	Bagaço de	Casca de Arroz	Cana	Palha de Trigo
Nota Final Poder Calorífico	25%	1,0568	1,0182	1,0000	1,0000
Nota Final Custo	25%	-2,3333	-1,0000	-1,0000	-7,6667
Nota Final Poluentes	25%	-1,5581	-1,8568	-1,7500	-1,7500
Nota Final Resíduo	25%	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Nota Final Biomassas	100%	-1,8346	-0,8386	-0,8386	-7,4167

Fonte: O Autor

Comparando as três notas finais, concluímos que o Bagaço de Cana tem a melhor nota (-0,8386). Desta forma, ele seria o mais indicado nesta comparação para ser adquirido para queima.

Equação 16:

$$nFB = (nFPC * iPC) + (nFC * iC) + (nFP * iP) + (nFR * iR)$$

onde,

nFB = nota final da biomassa

$nFPC$ = nota final do poder calorífico

iPC = importância do poder calorífico

nFC = nota final do custo

iC = importância do custo

nFP – nota final dos poluentes

iP = importância dos poluentes

nFR = nota final resíduo

iR = importância de ser resíduo

5.6. MATLAB X JAVA

Inicialmente, o desenvolvimento deste programa começou a ser feito em Matlab (R2011a Student Version). MATLAB (MATrix LABoratory) é um software interativo de alto desempenho voltado para o cálculo numérico. O MATLAB integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em ambiente fácil de usar onde problemas e soluções são expressos somente como eles são escritos matematicamente, ao contrário da programação tradicional.

O MATLAB é um sistema interativo cujo elemento básico de informação é uma matriz que não requer dimensionamento. Esse sistema permite a resolução de muitos problemas numéricos em apenas uma fração do tempo que se gastaria para escrever um programa semelhante em linguagem Fortran, Basic ou C. Além disso, as soluções dos problemas são expressas quase exatamente como elas são escritas matematicamente.

O Matlab tem muitas vantagens, em comparação com linguagens computacionais convencionais, para resolver problemas técnicos. Entre elas, temos: a) Facilidade de uso: o Matlab é uma linguagem interpretada, assim como muitas versões de Basic. b) Independência de Plataforma: tem suporte em diferentes sistemas computacionais: Windows XP/Vista, Linux, diversas versões de Unix e Macintosh. c) Funções Predefinidas: conta com uma grande biblioteca de funções predefinidas, que apresentam soluções testadas e empacotadas para diversas tarefas técnicas básicas d) Desenhos Independentes de Dispositivos: diferente da maioria das linguagens de computador, o Matlab tem muitos comandos para desenhos e imagens, que podem ser exibidos em qualquer dispositivo de saída gráfica compatível com o computador que executa o Matlab. Este recurso torna o Matlab uma ferramenta excepcional para visualização de dados técnicos. e) Interface Gráfica de Usuário: tem ferramentas que permitem a um programador construir interativamente uma interface gráfica de usuário (GUI – Graphical User Interface) para seus programas. Com este recurso, o programador é capaz de projetar programas sofisticados de análise de dados, os quais podem ser operados por usuários relativamente inexperientes.

Porém o MALTLAB tem duas desvantagens principais. Primeiro, ele é uma linguagem interpretada, por isso pode ser mais lento que linguagens compiladas e a segunda desvantagem é o custo: uma cópia completa do MATLAB é de cinco a dez vezes mais cara que um compilador convencional C ou Fortran.

Devido a estas desvantagens optamos em mudar a linguagem de desenvolvimento para java.

O Java é atualmente a linguagem mais utilizada em todo o mundo, em ainda em crescimento nas empresas, através de novas adoções. Uma coisa que se deve mencionar é que hoje o Java não é apenas uma linguagem, mas sim uma plataforma de desenvolvimento. Nos últimos anos o Java vem sendo usado por todo o mundo dentre as características podemos citar as seguintes:

- Aprenda Java e programe em qualquer plataforma: Uma das grandes vantagens do Java é que ele além de ser uma linguagem é uma plataforma de desenvolvimento. Com ele é possível desenvolver aplicações para desktop, celular, cartão, web, televisão digital, etc.

- Comunidades: Os grupos de usuários Java são muito fortes em todo o mundo e graças a eles é possível obter material para estudos de maneira fácil, participar de encontros regionais, palestras e até minicursos. Neles também é possível trocar experiência com pessoas que já atuam na área a mais tempo. Uma das novidades para a comunidade é a participação do SouJava, grupos de usuários Java em São Paulo no JCP (*Java Community Process*).

- Grande número de framework: Graças ao investimento das comunidades e também de algumas empresas, existem hoje uma variedade de frameworks que visam facilitar o trabalho do desenvolvedor.

- O Java não roda somente Java: A máquina virtual Java atualmente roda cerca de 350 linguagens com pontos interessantes, por exemplo, o Groovy linguagem dinâmica, Scala que é específica para concorrência dentre outras linguagens como JPython , Python, Jruby e o Ruby.

- Desenvolva em qualquer sistema operacional para qualquer sistema operacional: Quando se compila um arquivo em Java ele gera um bytecode que é interpretado numa JVM. Bastando que o seu sistema operacional tenha uma JVM, será possível executar o Java nos sistemas operacionais Windows, GNU/Linux e Mac. Suas principais IDEs, podemos citar o Eclipse e o Netbeans, rodam em Java ou seja se pode programar em qualquer sistema operacional.

5.6.1. O futuro do Java

Assim como a tecnologia da informação, as linguagens passam por constantes mudanças para se adaptar aos novos mercados. Com o Java esse processo não é diferente. A seguir são mostradas algumas novidades que virão neste ou nos próximos anos.

- Suporte a um maior número de Linguagem;
- Java 7 e 8;
- Java FX 2.0;
- Java ME;
- Java EE 7.

5.6.2. Conclusão por que Java

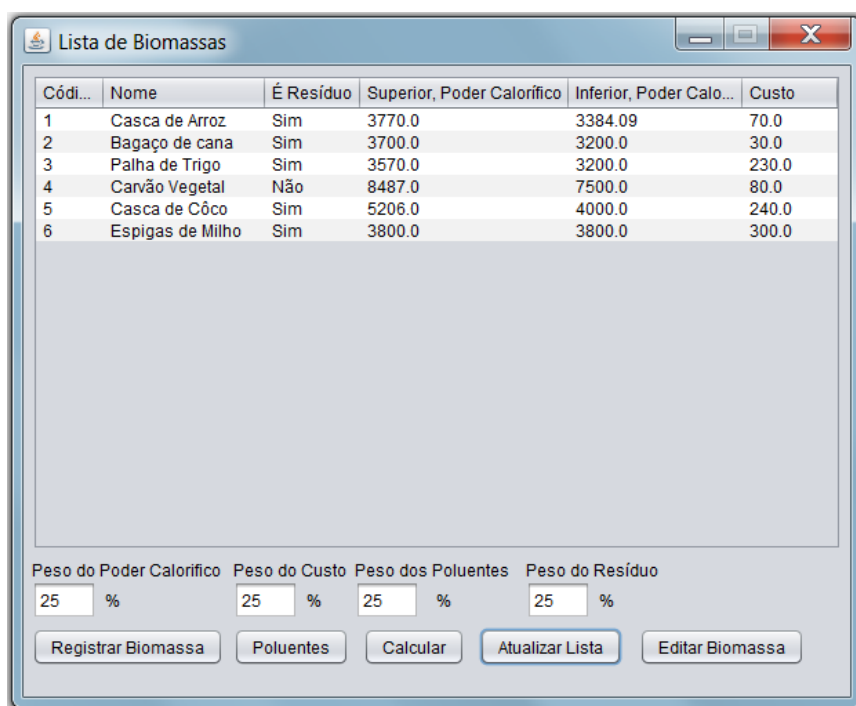
Essa tecnologia tende a ser amplamente desenvolvida sobre tudo para os dispositivos móveis, web e a computação nas nuvens. Essas tecnologias estão começando a se integrar ao HTML 5 que está com a sua data prevista para 2014, já que há uma tendência muito forte das aplicações se concentrarem na arquitetura web e na arquitetura mobile.

5.7. TELAS DO PROGRAMA

5.7.1. Lista de Biomassas

Assim que o programa é executado, aparece a janela “Lista de Biomassas” (Figura 2). Esta janela mostra todas as biomassas já cadastradas no BD (Banco de dados) deste programa.

Figura 2 - Lista de Biomassas



Códi...	Nome	É Resíduo	Superior, Poder Calorífico	Inferior, Poder Calo...	Custo
1	Casca de Arroz	Sim	3770.0	3384.09	70.0
2	Bagaço de cana	Sim	3700.0	3200.0	30.0
3	Palha de Trigo	Sim	3570.0	3200.0	230.0
4	Carvão Vegetal	Não	8487.0	7500.0	80.0
5	Casca de Côco	Sim	5206.0	4000.0	240.0
6	Espigas de Milho	Sim	3800.0	3800.0	300.0

Peso do Poder Calorífico: %
 Peso do Custo: %
 Peso dos Poluentes: %
 Peso do Resíduo: %

Fonte: O Autor

Nesta janela têm-se as opções:

Registrar Biomassa: Invoca outra janela para registrar uma biomassa não existente neste programa.

Poluentes: Invoca outra janela para registrar um novo poluente ou alterar algum que consta na NR 15 - Atividades e Operações Insalubres Anexo n.º 11 – Agentes Químicos Cujas Insalubridade é Caracterizada por limite de Tolerância e Inspeção no Local de trabalho.

Calcular: Esta função faz com que o programa calcule a eficiência energética de biomassas na Relação Custo X Emissão de Poluentes. Para isto se faz necessária à seleção de pelo menos duas biomassa para a comparação.

Atualizar Lista: Função que permite a atualização da lista trocando os dados antigos pelos atuais digitados na função “Editar Biomassa”.

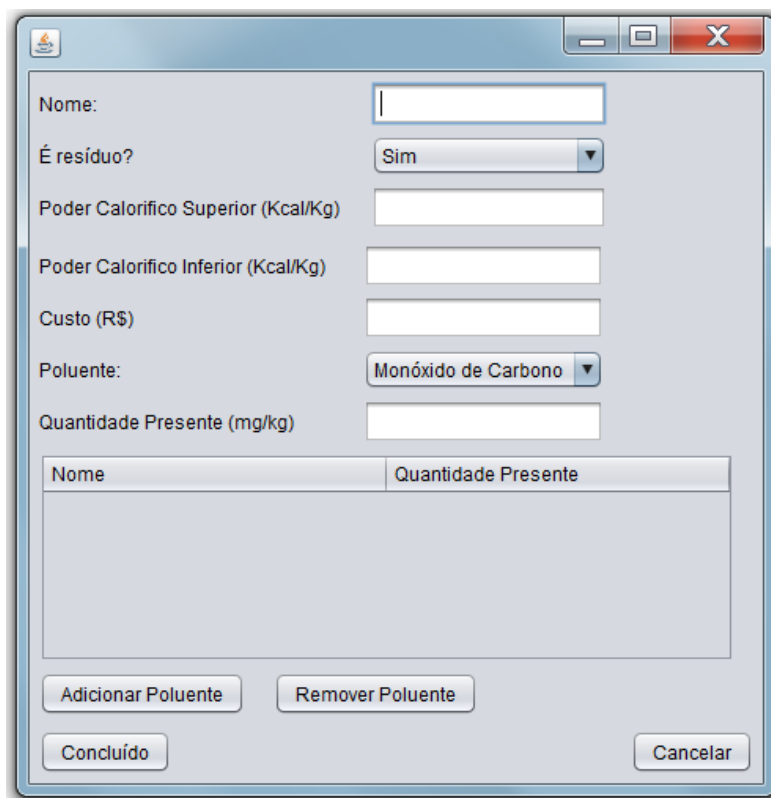
Editar Biomassa: Invoca outra janela para alterar os dados de uma biomassa previamente selecionada.

Peso da Categoria: Este percentual, que começa sempre com 25% para cada categoria, pode ser alterado por categoria, de acordo com a importância que ela tem para cada o usuário. Assim sendo, caso o custo tenha um peso menor para um determinado usuário do que o peso do poder calorífico, ele pode mudar o peso do percentual do custo para 10% (por exemplo) e aumentar o peso do percentual do poder calorífico para 40%. É obrigatória que a soma destes percentuais sempre dê o resultado de 100%. Estes pesos irão influenciar diretamente no cálculo da nota das biomassas.

5.7.2. Registrar Biomassa

Na janela da Figura 3 deve-se fornecer as seguintes informações: Nome da Biomassa, É resíduo, Poder Calorífico Superior (kcal/kg), Poder Calorífico Inferior (kcal/kg), Custo (R\$/t) e os poluentes que esta biomassa gera durante a sua combustão com as respectivas quantidades (mg/kg).

Figura 3 - Registrar Biomassa



The dialog box 'Registrar Biomassa' contains the following fields and controls:

- Nome:
- É resíduo?:
- Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg):
- Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg):
- Custo (R\$):
- Poluente:
- Quantidade Presente (mg/kg):

Nome	Quantidade Presente
------	---------------------

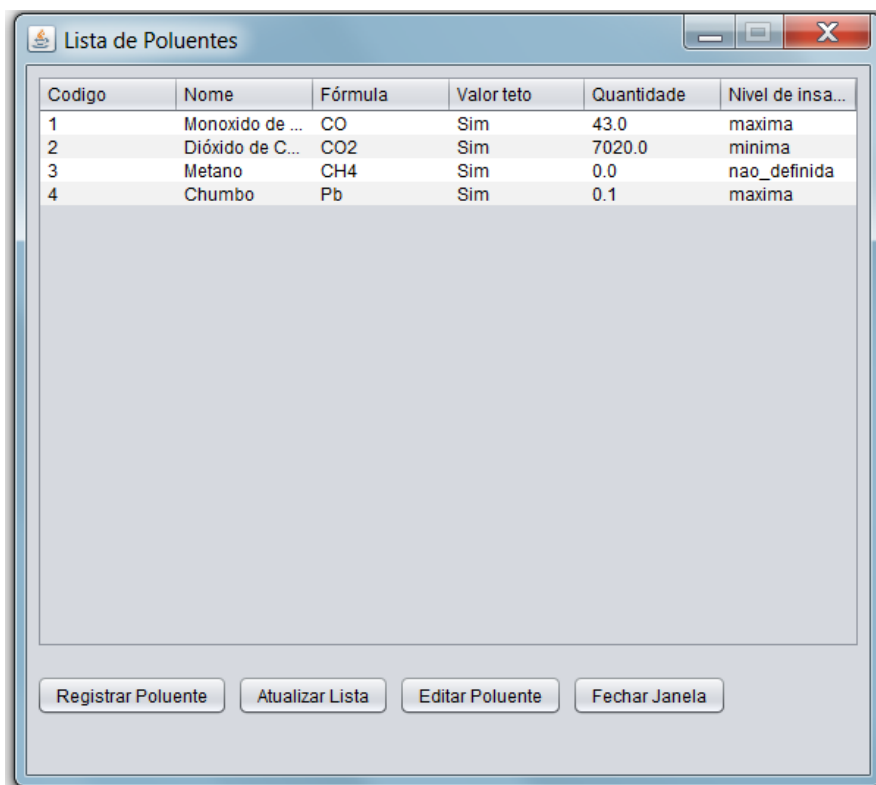
Buttons: Adicionar Poluente, Remover Poluente, Concluído, Cancelar

Esta tela também permite excluir um poluente desta biomassa específica.

5.7.3. Poluentes

Na janela da Figura 4 mostra-se todos os poluentes já cadastrados no BD (Banco de dados) deste programa e que são originários da NR 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES, ANEXO N.º 11, AGENTES QUÍMICOS CUJA INSALUBRIDADE É CARACTERIZADA POR LIMITE DE TOLERÂNCIA E INSPEÇÃO NO LOCAL DE TRABALHO.

Figura 4 - Poluentes



Código	Nome	Fórmula	Valor teto	Quantidade	Nível de insa...
1	Monóxido de ...	CO	Sim	43.0	maxima
2	Dióxido de C...	CO2	Sim	7020.0	minima
3	Metano	CH4	Sim	0.0	nao_definida
4	Chumbo	Pb	Sim	0.1	maxima

Fonte: O Autor

Nesta janela tem-se as opções:

Registrar Poluente: Invoca outra janela para registrar um poluente não existente neste programa.

Atualizar Lista: Função que permite a atualização da lista trocando os dados antigos pelos atuais digitados na função “Editar Poluente”.

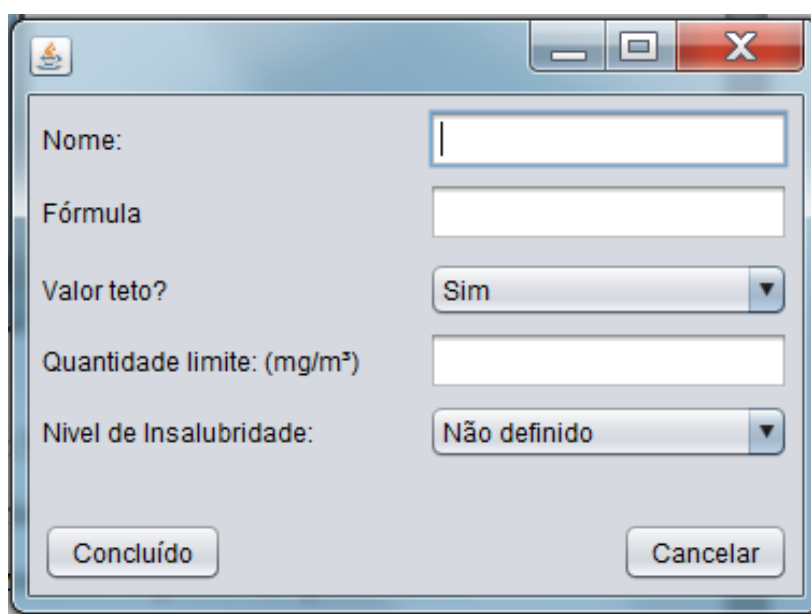
Editar Poluente: Invoca outra janela para possibilitar alterações dos dados do poluente. É necessária a seleção prévia de um poluente.

Fechar Janela: Esta função faz com que a janela “Lista de Poluentes” feche e o programa retorne a janela “Lista de Biomassas”.

5.7.4. Registrar Poluente

Na janela da Figura 5 deve-se fornecer as seguintes informações: Nome do Poluente, a Fórmula, se Valor Teto (Sim/Não), Quantidade limite (mg/m^3) e qual o Nível de Insalubridade (Não definido, Mínimo, Médio ou Máximo).

Figura 5 - Registrar Poluente



Fonte: O Autor

5.7.5. Editar Poluente

Na janela da Figura 6 pode-se alterar as seguintes informações: Nome do Poluente, a Fórmula, se Valor Teto (Sim/Não), Quantidade limite (mg/m^3) e qual o Nível de Insalubridade (Não definido, Mínimo, Médio ou Máximo).

Figura 6 - Editar Poluente

Nome: Chumbo

Fórmula: Pb

Valor teto?: Sim

Quantidade limite: (mg/m³): 0.1

Nível de Insalubridade: Máxima

Concluído Cancelar

Fonte: O Autor

5.7.6. Editar Biomassa

Na janela da Figura 7 pode-se alterar as seguintes informações: Nome da Biomassa, É resíduo, Poder Calorífico Superior (kcal/kg), Poder Calorífico Inferior (kcal/kg), Custo (R\$/t) e os poluentes que esta biomassa gera durante a sua combustão com as respectivas quantidades (mg/kg).

Figura 7 - Editar Biomassa

Nome: Palha de Trigo

É resíduo?: Sim

Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg): 3570.0

Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg): 3570.0

Custo (R\$): 9.47

Poluente: Monóxido de Carbono

Quantidade Presente (mg/kg):

Nome	Quantidade Presente
Monóxido de Carbono	15.5
Dióxido de Carbono	12.5

Adicionar Poluente Remover Poluente

Concluído Cancelar

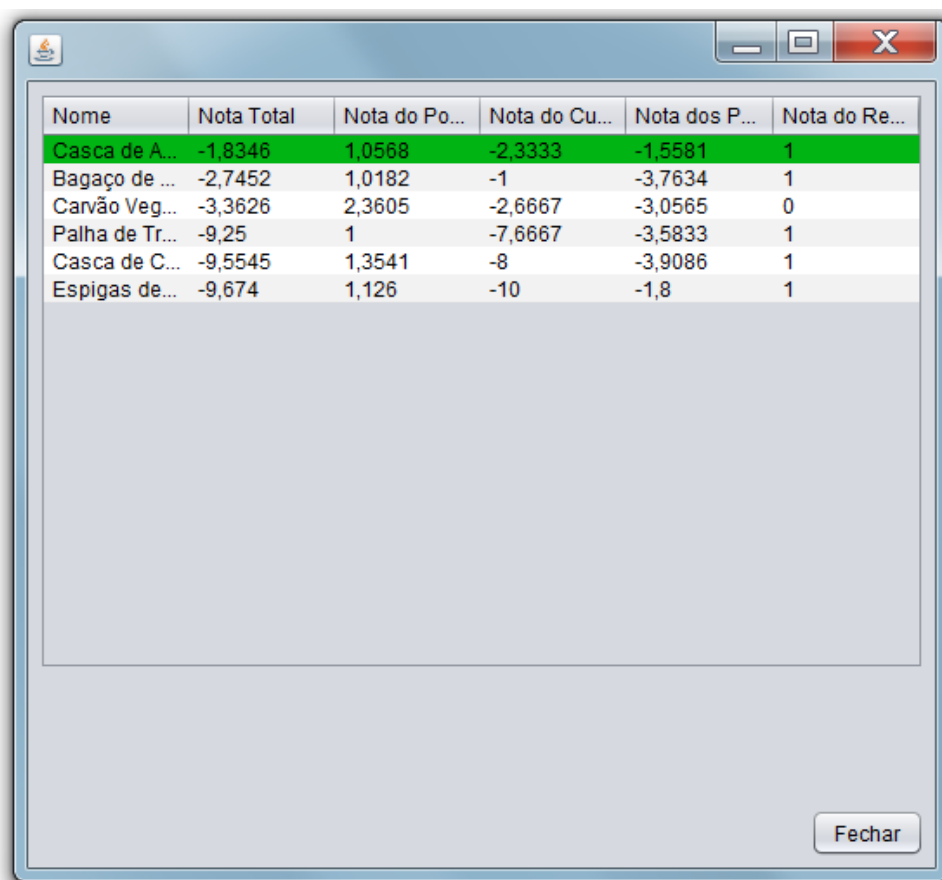
Fonte: O Autor

Esta tela também permite excluir um poluente desta biomassa específica.

5.7.7. Calcular

Na janela da Figura 8 permite-se fazer os cálculos e mostra em ordem crescente, a lista das biomassas com as respectivas notas.

Figura 8 - Calcular



Nome	Nota Total	Nota do Po...	Nota do Cu...	Nota dos P...	Nota do Re...
Casca de A...	-1,8346	1,0568	-2,3333	-1,5581	1
Bagaço de ...	-2,7452	1,0182	-1	-3,7634	1
Carvão Veg...	-3,3626	2,3605	-2,6667	-3,0565	0
Palha de Tr...	-9,25	1	-7,6667	-3,5833	1
Casca de C...	-9,5545	1,3541	-8	-3,9086	1
Espigas de...	-9,674	1,126	-10	-1,8	1

Fonte: O Autor

A de melhor eficiência Energética na relação custo X emissão de poluentes é realçada com a cor de fundo verde.

5.8. EQUAÇÃO GERAL

1. $N = nPC + nC + nP + nR /$
 $\{ pPC + pC + pP + PR = 1 \text{ e}$
 $Q_{n-1} \leq Q_n \leq Q_{n+1} \text{ e}$
 $r \in | N | 0 \leq r \leq 1 \}$
2. $nPC = (\frac{PCS}{mPCS} + \frac{PCI}{mPCI}) / 2 * pPC$
3. $nC = (-I * C) / (mC * pC)$
4. $nP = -I * \sum_{i=1}^p (Q_i / mQ * MI_i * i * pP)$
5. $nR = r * pR$

Os parâmetros que aparecem nessas equações são os seguintes:

N = nota final da biomassa

nPC = nota do poder calorífico

PCS = poder calorífico superior da biomassa

$mPCS$ = poder calorífico superior da biomassa com o menor PCM

PCI = poder calorífico inferior da biomassa

$mPCI$ = poder calorífico inferior da biomassa com o menor PCM

pPC = peso da nota do poder calorífico

nC = nota do custo

C = custo da biomassa

mC = menor custo dentre todas as biomassas avaliadas

pC = peso da nota de custo

nP = nota dos poluentes

Q = quantidade do poluente presente na biomassa

mQ = menor quantidade daquele poluente dentre as biomassas avaliadas

MI = multiplicador de insalubridade do poluente

pP = peso da nota dos poluentes

nR = nota do Resíduo

6. RESULTADOS E DISCURSSÃO

Essa metodologia, que consta de um banco de dados de biomassas com suas propriedades importantes de combustível, foi empregada no desenvolvimento de um software que auxilia na escolha das biomassas disponíveis, levando-se em conta sua Eficiência Energética X Custo de Aquisição X Emissão de Poluentes, fazendo e apresentando comparações entre elas.

O software desenvolvido neste trabalho ajuda efetivamente na escolha da biomassa ideal para uma empresa, levando-se vários fatores em consideração, com o objetivo de se conseguir um equilíbrio na escolha balanceada de Eficiência Energética X Custo Aquisição X Emissão de Poluentes.

Foram identificados na literatura vastos estudos sobre as biomassas, seus respectivos poluentes e seus respectivos poderes caloríficos. A partir desses dados foi desenvolvida a metodologia para avaliação do desempenho das biomassas. Seleção com o intuito de ajudar consumidores dessas biomassas a fazerem uma melhor escolha na aquisição do material, foram considerados no trabalho não só os preços deste combustível, mas também seu poder calorífico e a poluição que ele provoca.

Com o uso do software desenvolvido neste trabalho o empresário fará economia nos custos de aquisição de biomassas, reduzirá o índice de gases poluentes na atmosfera, melhorando o meio ambiente, preservará árvores e florestas substituindo a queima por resíduos de biomassas, aplicará a NR 15 (Atividades e Operações Insalubres Anexo n.º 11 – Agentes Químicos Cujas Insalubridade é Caracterizada por limite de Tolerância e Inspeção no Local de trabalho), usando biomassas que produzem menor quantidade de gases tóxicos, podendo melhorar o ambiente de trabalho para os funcionários.

Para consolidação do software, foi inserido um banco de dados com seis biomassas:

- a) Casca de arroz
- b) Bagaço de cana
- c) Carvão vegetal
- d) Palha de trigo
- e) Casca de coco
- f) Espiga de milho

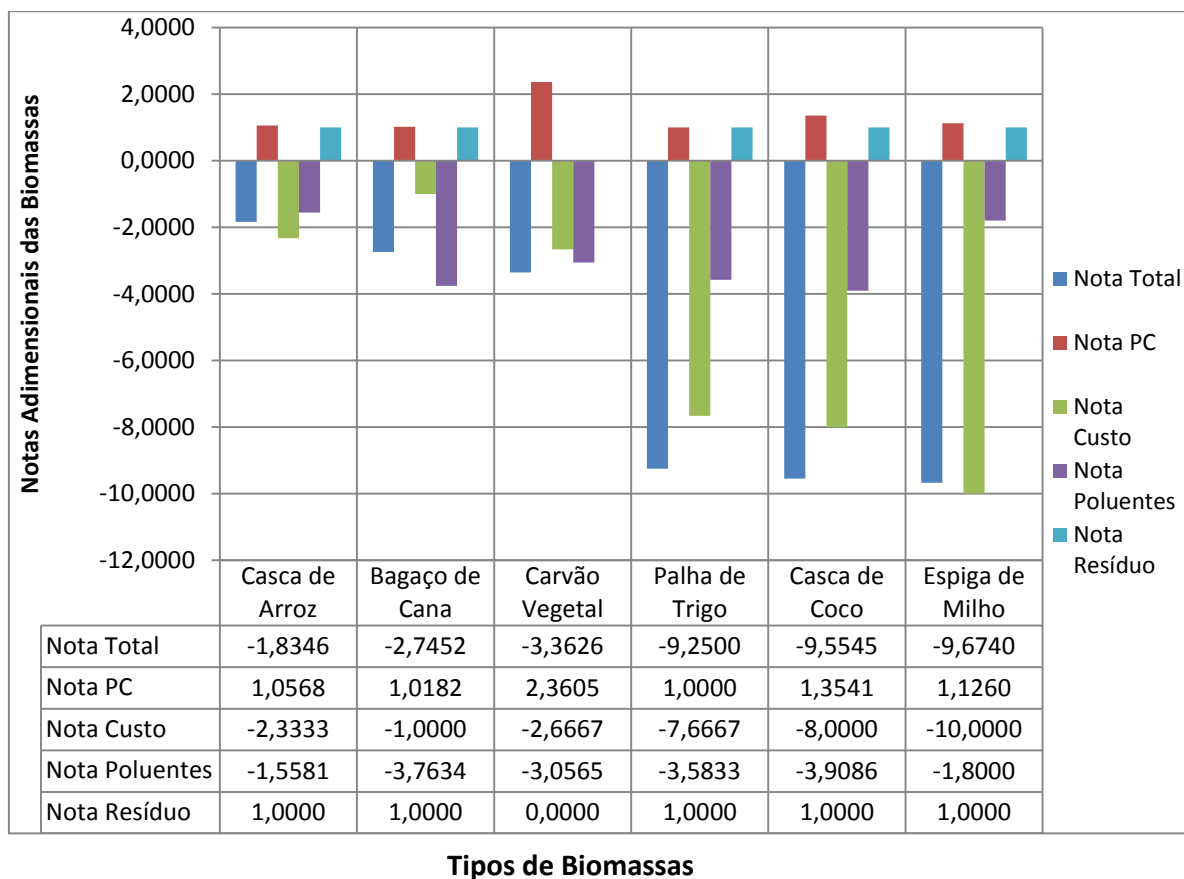
Para análise do desempenho das biomassas, as seguintes informações devem ser fornecidas ao software:

- a) Nome da biomassa

- b) Poder calorífico superior
- c) Poder calorífico inferior
- d) Valor de custo
- e) Poluentes que constam na NR 15
- f) Se é resíduo ou não

Executando o software e considerando que todos os percentuais das quatro categorias são iguais (25%) o sistema pontuou a casca de arroz com a melhor nota total (-1,8346), classificando esta biomassa como a ideal se comparada com as outras cinco. Em contrapartida, a biomassa espiga de milho foi pontuada com a pior nota total (-9,674) sendo classificada como a pior biomassa para geração de energia, entre as seis avaliadas, conforme pode ser observado na Figura 9 a seguir:

Figura 9 – Notas adimensionais das biomassas analisadas na consolidação do software



Fonte: O Autor

Observa-se na Figura 9 que, entre as biomassas analisadas pelo software, a casca de arroz foi a que apresentou a melhor nota total, conforme a legenda da Figura. Do conjunto de biomassas analisados pelo software, a palha de trigo, a casca de coco e a espiga de milho tiveram notas totais próximas, influenciadas pelo alto custo dessas biomassas.

Outros resultados poderão ser obtidos alimentando-se o software com as informações correspondentes às biomassas.

7. CONCLUSÃO

No trabalho aqui desenvolvido foi definida uma metodologia de avaliação energética para o desenvolvimento de um software que auxiliará na escolha de uma biomassa ideal para a geração de energia.

Com este software consegue-se atender os objetivos propostos que são os de elaborar um critério de avaliação energética, que leve em consideração o custo da biomassa, seu poder calorífico, se é resíduo ou não e a geração de poluentes emitidos, economizar os custos de aquisição de biomassas para as empresas, reduzir o índice de gases poluentes na atmosfera, melhorar o meio ambiente, ajudando a preservar árvores e florestas substituindo a utilização delas por resíduos de biomassas e aplicar a NR 15 (Atividades e Operações Insalubres Anexo n.º 11 – Agentes Químicos cuja Insalubridade é Caracterizada por limite de Tolerância e Inspeção no Local de trabalho), usando biomassas que produzem menor quantidade de gases tóxicos, podendo melhorar o ambiente de trabalho para os trabalhadores.

Para o desenvolvimento do software foi definido um critério que auxilia na avaliação energética considerando os seguintes fatores: custo da biomassa, poder calorífico da biomassa, se a biomassa é resíduo ou não e a geração de poluentes emitidos.

Com a aplicação do software na avaliação de vários tipos de biomassas, os resultados encontrados mostram que o resíduo de casca de arroz apresentou melhor resultado, seguido do bagaço de cana-de-açúcar. Nota-se que o poder calorífico da casca de arroz é maior que o do bagaço de cana.

Após o uso do software na avaliação das biomassas foi observado uma possível melhoria, sugerida como continuidade do projeto. É sugerida uma análise mais detalhada de parâmetros que interferem no PC das biomassas. Fatores como época de colheita, idade e armazenamento da biomassa podem e devem ser considerados, pois eles influenciam diretamente no poder calorífico das biomassas. Além destes, temos outros fatores importantes como resíduos agroindustriais não processados, custos dos gases obtidos e custo diferencial de vendas de sólidos (valor agregado das cinzas).

Converter este sistema para uma plataforma móvel também poderá trazer o benefício de uso em equipamentos portáteis, o que dará a vantagem de uso fácil durante o deslocamento das pessoas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambiente Brasil S/S Ltda. Disponível em
http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/biomassa/biomassa_-_o_que_%3F.html.
Acesso em 15 dez 2011 às 10:34 horas.

Apostila de MATLAB. Disponível em
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABMtkAB/apostila-matlab>. Acesso em 25 out 2012
às 15:25

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico - Método de ensaio**, 1984. Disponível em
<http://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em 25 out 2012 às 08:17

BRAND, M. A. **Qualidade da Biomassa Florestal para uso na Geração de Energia em Função da Estocagem**. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais. 2007

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. **Influência da época de colheita da biomassa florestal sobre sua qualidade para a geração de energia**. Sci. For., Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 619-628, dez. 2010

BRITO, O. J.; BARRICHELO, L. E. G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. I. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto**. IPEF, v. 14, p. 9-20, 1977.

BRITO, O. J.; FERREIRA, M.; BARRICHELO, L. E. G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. II. Densidade básica da madeira x densidade aparente do carvão - perspectivas de melhoramento**. Boletim Informativo ESALQ/USP, v. 6, n. 16, p. 1-9, 1978.

CASTILLO, M. E. U. **Determinacion del poder calorífico de 20 espécies florestales de la Amazonia peruana**. Revista Florestal do Peru, v. 12, n. 1-2, p. 98-117, 1994.

DIAMANTOPOULOU, L K. ; KARAOGLANOGLU, L. S. ; KOUKIOS, E. G. Biomass Cost Index: mapping biomass-to-biohydrogen feedstock costs by a new approach.

Bioresource technology, 2011, Vol.102(3), pp.2641-50 [Periódico revisado por pares]

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

ECN-Biomass. Version: 4.13. **Energy research Centre of the Netherlands.** Disponível em <http://www.ecn.nl/phyllis/single.html>. Acesso em 05 mar 2013 às 20:14

GOLDEMBERG, J. **Energia , meio ambiente e desenvolvimento.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 1998. 125 p.

GOMIDE, Reynaldo. **Estequiometria Industrial.** 2.ed. São Paulo. Edição do Autor, 1979. 228p.

INEE : Instituto Nacional de Eficiência energética. Disponível em http://www.inee.org.br/biomassa_sobre.asp?Cat=biomassa. Acesso em 15 dez 2011 às 10:18 horas

INGHAM, J. M. **Biomassa no mundo e no Brasil.** In: Fontes não-convencionais de energia: as tecnologias solar, eólica e de biomassa. 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999. 160 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS do Estado de São Paulo - IPT. **A madeira como combustível.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1937. p. 165-171. (Boletim, 17).

JAHN, T. G.; NICOLAU, V. P.; DADAM, A. P.; LEHMKUHL, W. A.; REINALDO, E. B. **Propriedades de Biomassas para uso como Energético no setor Cerâmico.** 52º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 08 a 11 de junho de 2008. Florianópolis, SC. Art 03-012, 11p.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 6 p. (Comunicação Técnica, 1797)

MARABOTO, M. T. et al. **Poder calorífico de dez espécies florestais da Amazônia Brasileira-Peruana.** In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: 1989, v. 3, p. 7-29.

MCKENDRY, P. **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass.** Science, Bioresource Technology, Volume 83, May 2002, Pages 37-46.

Norma Regulamentadora Nº 15 – Disponível em <http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-15-1.htm>. Acesso em 07/05/2012 às 8:57 horas.

OBERNBERGER, I.; GEROLD, T. **Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour.** Science, Biomass and Bioenergy, Volume 27, Issue 6, December 2004, Pages 653-669, Pellets 2002. The first world conference on pellets.

PORTAL ENERGIA - Notícias e Emprego. Disponível em <http://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/> . Acesso em 15 dez 2011 às 10:50 horas.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais.** Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, IBAMA, 2002. 31 p.

QUIRINO, W. F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. **Poder Calorífico da Madeira e de Materiais Ligno-Celulósicos.** Revista da Madeira nº 89 abril 2005 pag 100-106

RAJVANSHI, A. K. **Biomass Gasification.** Published as a Chapter (Nº 4) in book “Alternative Energy in Agriculture”, Vol. II. Ed. D. Yogi Goswami, CRC Press, 1986, pgs. 83-102.

VALE, A. T.; LEÃO, A. L.; BRASIL, M. A. M. **Caracterização da madeira e da casca de *Sclerolobium paniculatum*, *Dalbergia miscolobium* e *Pterodon pubescens* para uso energético.** In: ENCONTRO DE ENERGIA RURAL, 3., 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: AGRENER, 200a. p. 18-19.

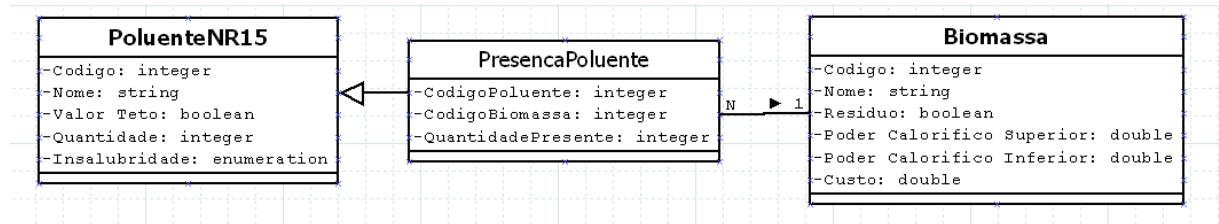
Vantagens e Desvantagens do JAVA. Disponível <http://www.devmedia.com.br/por-que-java/20384>. Acesso em 25 out 2012 às 10:15

9. ANEXOS

9.1. FLUXOGRAMAS E DIAGRAMAS

9.1.1. Diagrama de Classes – UML

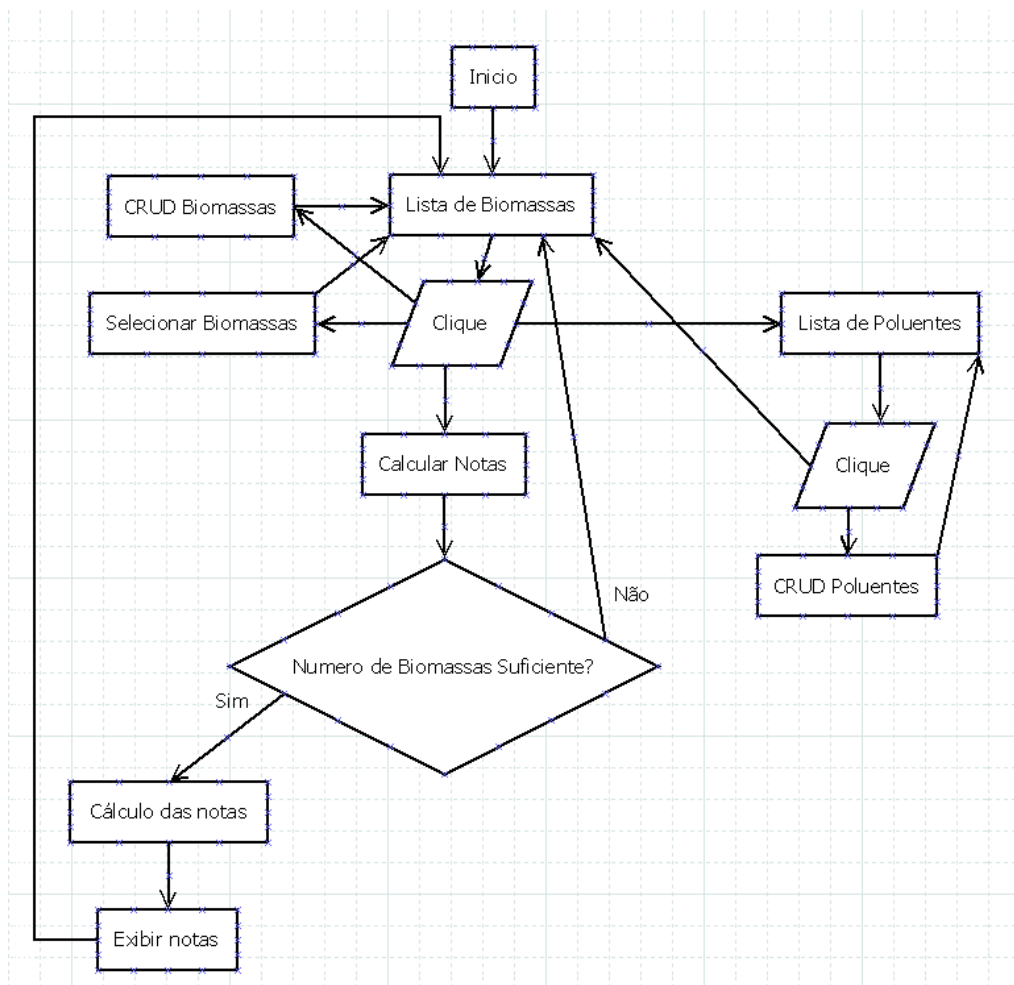
Figura 10 - Diagrama de Classes – UML



Fonte: O Autor

9.1.2. Diagrama de Atividade – UML

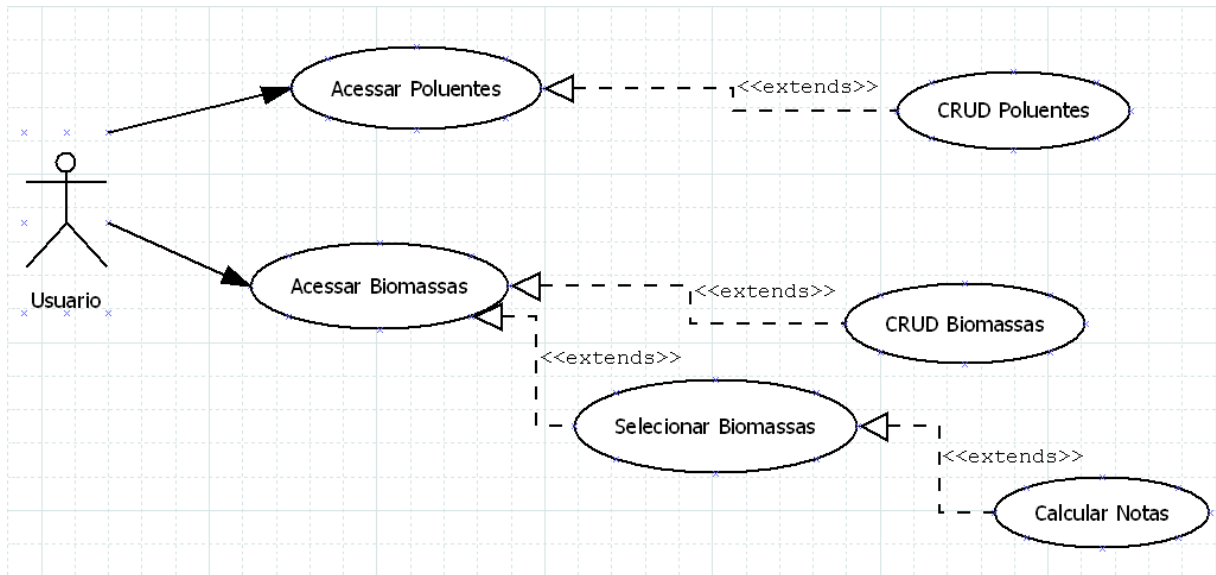
Figura 11 - Diagrama de Atividade – UML



Fonte: O Autor

9.1.3. Diagrama de Caso de Uso – UML

Figura 12 - Diagrama de Caso de Uso - UML



Fonte: O Autor

9.2. NR 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES ANEXO N.º 11

**AGENTES QUÍMICOS CUJA INSALUBRIDADE É
CARACTERIZADA POR LIMITE DE TOLERÂNCIA E INSPEÇÃO NO
LOCAL DE TRABALHO**

1. Nas atividades ou operações nas quais os trabalhadores ficam expostos a agentes químicos, a caracterização de insalubridade ocorrerá quando forem ultrapassados os limites de tolerância constantes do Quadro n.º 1 deste Anexo.

2. Todos os valores fixados no Quadro n.º 1 - Tabela de Limites de Tolerância são válidos para absorção apenas por via respiratória.

3. Todos os valores fixados no Quadro n.º 1 como "Asfixiantes Simples" determinam que nos ambientes de trabalho, em presença destas substâncias, a concentração mínima de oxigênio deverá ser 18 (dezoito) por cento em volume. As situações nas quais a concentração de oxigênio estiver abaixo deste valor serão consideradas de risco grave e iminente.

4. Na coluna "VALOR TETO" estão assinalados os agentes químicos cujos limites de tolerância não podem ser ultrapassados em momento algum da jornada de trabalho.

5. Na coluna "ABSORÇÃO TAMBÉM PELA PELE" estão assinalados os agentes químicos que podem ser absorvidos, por via cutânea, e portanto exigindo na sua manipulação o uso da luvas adequadas, além do EPI necessário à proteção de outras partes do corpo.

6. A avaliação das concentrações dos agentes químicos através de métodos de amostragem instantânea, de leitura direta ou não, deverá ser feita pelo menos em 10 (dez) amostragens, para cada ponto - ao nível respiratório do trabalhador. Entre cada uma das amostragens deverá haver um intervalo de, no mínimo, 20 (vinte) minutos.

7. Cada uma das concentrações obtidas nas referidas amostragens não deverá ultrapassar os valores obtidos na equação que segue, sob pena de ser considerada situação de risco grave e iminente.

Valor máximo = L.T. x F. D. Onde:

L.T. = limite de tolerância para o agente químico, segundo o Quadro n.º 1. F.D. = fator de desvio, segundo definido no Quadro n.º 2.

QUADRO N.º 2		
L.T.		F.D.
(pp, ou mg/m ³)		
0	a 1	3
1	a 10	2
10	a 100	1,5
100	a 1000	1,25
acima	de 1000	1,1

8. O limite de tolerância será considerado excedido quando a média aritmética das concentrações ultrapassar os valores fixados no Quadro n.º 1.

9. Para os agentes químicos que tenham "VALOR TETO" assinalado no Quadro n.º 1 (Tabela de Limites de Tolerância) considerar-se-á excedido o limite de tolerância, quando

qualquer uma das concentrações obtidas nas amostragens ultrapassar os valores fixados no mesmo quadro.

10. Os limites de tolerância fixados no Quadro n.º 1 são válidos para jornadas de trabalho de até 48 (quarenta e oito) horas por semana, inclusive.

10.1 Para jornadas de trabalho que excedam as 48 (quarenta e oito) horas semanais dever-se-á cumprir o disposto no art. 60 da CLT.

QUADRO N.º 1

Tabela 24 – Tabela de Limites de Tolerância

AGENTES QUÍMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua
			ppm*	mg/m3**	
Acetaldeído			78	140	máximo
Acetato de cellosolve		+	78	420	médio
Acetato de éter monoetílico de etileno glicol			-	-	-
Acetato de etila			310	1090	mínimo
Acetato de 2-etóxi etila (vide acetato de cellosolve)			-	-	-
Acetileno			Axfixiante	simples	-
Acetona			780	1870	mínimo
Acetonitrila			30	55	máximo
Acido acético			8	20	médio
Acido cianídrico		+	8	9	máximo
Acido clorídrico	+		4	5,5	máximo
Acido crômico (névoa)			-	0,04	máximo
Acido etanóico (vide ácido acético)			-	-	-
Acido fluorídrico			2,5	1,5	máximo
Acido fórmico			4	7	médio
Acido metanóico (vide ácido fórmico)			-	-	-
Acrilato de metila		+	8	27	máximo
Acrilonitrila		+	16	35	máximo
Alcool isoamílico			78	280	mínimo
Alcool n-butílico	+	+	40	115	máximo
Alcool isobutílico			40	115	médio
Alcool sec-butílico (2-butanol)			115	350	médio
Alcool terc-butílico			78	235	médio
Alcool etílico			780	1480	mínimo
Alcool furfurílico		+	4	15,5	médio
Alcool metil amílico (vide metil isobutil carbinol)			-	-	-
Alcool metílico		+	156	200	máximo
Alcool n-propílico		+	156	390	médio
Alcool isopropílico		+	310	765	médio
Aldeído acético (vide acetaldeído)			-	-	-
Aldeído fórmico (vide formaldeído)			-	-	-
Amônia			20	14	médio
Anidro sulfuroso (vide dióxido de enxofre)			-	-	-
Anilina		+	4	15	máximo
Argônio			Asfixiante	simples	-
Arsina (arsenamina)			0,04	0,16	máximo
Benzene	<i>(Excluído pela Portaria n.º 03, de 10 de março de 1994)</i>				
Brometo de etila			156	695	máximo
Brometo de metila		+	12	47	máximo
Bromo			0,08	0,6	máximo
Bromoetano (vide brometo de etila)			-	-	-
Bromofórmio		+	0,4	4	médio
Bromometano (vide brometo de metila)			-	-	-
1,3 Butadieno			780	1720	médio
n-Butano			470	1090	médio

n-Butano (vide álcool n-butílico)			-	-	-
sec-Butanol (vide álcool sec-butílico)			-	-	-
Butanona (vide metil etil cetona)			-	-	-
1-Butanotiol (vide butil mercaptana)			-	-	-
n-Butilamina	+	+	4	12	máximo
Butil cellosolve		+	39	190	médio
n-Butil mercaptana			0,4	1,2	médio
2-Butóxi etanol (vide butil cellosolve)			-	-	-
Cellosolve (vide 2-etóxi etanol)			-	-	-
Chumbo			-	0,1	máximo
Cianeto de metila (vide acetonitrila)			-	-	-
Cianeto de vinila (vide acrilonitrila)			-	-	-
Cianogênio			8	16	máximo
Ciclohexano			235	820	médio
Ciclohexanol			40	160	máximo
Ciclohexilamina		+	8	32	máximo
Cloreto de carbonila (vide fosgênio)			-	-	-
Cloreto de etila			780	2030	médio
Cloreto de fenila (vide cloro benzeno)			-	-	-
Cloreto de metila			78	165	máximo
Cloreto de metileno			156	560	máximo
Cloreto de vinila	+		156	398	máximo
Cloreto de vinilideno			8	31	máximo
Cloro			0,8	2,3	máximo
Clorobenzeno			59	275	médio
Clorobromometano			156	820	máximo
Cloroetano (vide cloreto de etila)			-	-	-
Cloroetilico (vide cloreto de vinila)			-	-	-
Clorodifluometano (freon 22)			780	2730	mínimo
Clorofórmio			20	94	máximo
1-Cloro 1-nitropropano			16	78	máximo
Cloroprene		+	20	70	máximo
Cumeno		+	39	190	máximo
Decaborano		+	0,04	0,25	máximo
Demeton		+	0,008	0,08	máximo
Diamina (vide hidrazina)			-	-	-
Diborano			0,08	0,08	máximo
1,2-Dibromoetano		+	16	110	médio
o-Diclorobenzeno			39	235	máximo
Diclorodifluometano (freon 12)	+		780	3860	mínimo
1,1 Dicloroetano			156	640	médio
1,2 Dicloroetano			39	156	máximo
1,1 Dicloreotileno (vide cloreto de vinilideno)			-	-	-
1,2 Dicloroetileno			155	615	médio
Diclorometano (vide cloreto de metilino)			-	-	-
1,1 Dicloro-1-nitroetano	+		8	47	máximo
1,2 Dicloropropano			59	275	máximo
Diclorotetrafluoretano (freon 114)			780	5460	mínimo
Dietil amina			20	59	médio
Dietil éter (vide éter etílico)			-	-	-
2,4 Diisocianato de tolueno (TDI)	+		0,016	0,11	máximo
Diisopropilamina		+	4	16	máximo
Dimetilacetamida		+	8	28	máximo
Dimetilamina			8	14	médio
Dimetiformamida			8	24	médio

1,1 Dimetil hidrazina		+	0,4	0,8	máximo
Dióxido de carbono			3900	7020	mínimo
Dióxido de cloro			0,08	0,25	máximo
Dióxido de enxofre			4	10	máximo
Dióxido de nitrogênio	+		4	7	máximo
Dissulfeto de carbono		+	16	47	máximo
Estibina			0,08	0,4	máximo
Estireno			78	328	médio
Etanol (vide acetaldeído)					
Etano			Asfixiante	simples	
Etanol (vide etílico)					
Etanotiol (vide etil mercaptana)					
Eter decloroetílico		+	4	24	máximo
Eter etílico			310	940	médio
Eter monobutílico do etileno glicol (vide butil cellosolve)					
Eter monoetílico do etileno glicol (vide cellosolve)					
Eter monometílico do etileno glicol (vide metil cellosolve)					
Etilamina			8	14	máximo
Etilbenzeno			78	340	médio
Etileno			Asfixiante	simples	
Etilenoimina		+	0,4	0,8	máximo
Etil mercaptana			0,4	0,8	médio
n-Etil morfolina		+	16	74	médio
2-Etoxietanol		+	78	290	médio
Fenol		+	4	15	máximo
Fluortriclorometano (freon 11)			780	4370	médio
Formaldeído (formol)	+		1,6	2,3	máximo
Fosfina (fosfamina)			0,23	0,3	máximo
Fosgênio			0,08	0,3	máximo
Freon 11 (vide flortriclorometano)					
Freon 12 (vide diclorodiflormetano)					
Freon 22 (vide clorodifluormetano)					
Freon 113 (vide 1,1,2, triclora-1,2,2- trifluoretano)					
Freon 114 (vide declorotetrafloretano)					
Gás amoníaco (vide amônia)					
Gás carbônico (vide dióxido de					
Gás cianídrico (vide ácido cianídrico)					
Gás clorídrico (vide ácido clorídrico)					
Gás sulfídrico			8	12	máximo
Hélio			Asfixiante	simples	
Hidrazina		+	0,08	0,08	máximo
Hidreto de antimônio (vide estibina)					
Hidrogênio			Asfixiante	simples	
Isobutanol (vide álcool isobutílico)					
Isopropilamina			4	9,5	médio
Isopropil benzeno (vide cumeno)					
Mercúrio (todas as formas exceto				0,04	máximo
Metacrilato de metila			78	320	mínimo
Metano			Asfixiante	simples	
Metanol (vide álcool metílico)					
Metilamina			8	9,5	máximo
Metil cellosolve		+	20	60	máximo
Metil ciclohexanol			39	180	médio
Metilclorofórmio			275	1480	médio

Metil demeton		+	-	0,4	máximo
metil etil cetona			155	460	médio
Metil isobutilcarbinol		+	20	78	máximo
Metil mercaptana (metanotiol)			0,04	0,8	médio
2-Metoxi etanol (vide metil cellosolve)			-	-	-
Monometil hidrazina	+	+	0,16	0,27	máximo
Monóxido de carbono			39	43	máximo
Negro de fumo ⁽¹⁾				3,5	máximo
Neônio			Asfixiante	simples	-
Níquel carbonila (níquel tetracarbonila)			0,04	0,28	máximo
Nitrato de n-propila			20	85	máximo
Nitroetano			78	245	médio
Nitrometano			78	195	máximo
1 - Nitropropano			20	70	médio
2 - Nitropropano			20	70	médio
Oxido de etileno			39	70	maximo

(1) (Incluído pela Portaria DNSST n.º 09, de 09 de outubro de 1992)

Oxido nítrico (NO)			20	23	máximo
Oxido nitroso (N ₂ O)			Asfixiante	simples	-
Ozona			0,08	0,16	máximo
Pentaborano			0,004	0,008	máximo
n-Pentano		+	470	1400	mínimo
Percloroetileno			78	525	médio
Piridina			4	12	médio
n-propano			Asfixiante	simples	-
n-Propanol (vide álcool n-propílico)			-	-	-
iso-Propanol (vide álcool isopropílico)			-	-	-
Propanona (vide acetona)			-	-	-
Propileno			Asfixiante	simples	-
Propileno imina		+	1,6	4	máximo
Sulfato de dimetila	+	+	0,08	0,4	máximo
Sulfeto de hidrogênio (vide gás sulfídrico)			-	-	-
Systox (vide demeton)			-	-	-
1,1,2,2,Tetrabromoetano			0,8	11	médio
Tetracloroeto de carbono		+	8	50	máximo
Tetracloroetano		+	4	27	máximo
Tetracloroetileno (vide percloroetileno)			-	-	-
Tetrahidrofurano			156	460	máximo
Tolueno (toluol)		+	78	290	médio
Tolueno-2,4-diisocianato (TDI) (vide 2,4-diisocianato de tolueno)			-	-	-
Tribromometano (vide bromofórmio)			-	-	-
Tricloreto de vinila (vide 1,1,2 tricloroetano)			-	-	-
1,1,1 Tricloroetano (vide metil clorofórmio)			-	-	-
1,1,2 Tricloroetano		+	8	35	médio
Tricloroetileno			78	420	máximo
Triclorometano (vide clorofórmio)			-	-	-
1,2,3 Tricloropropano			40	235	máximo
1,1,2 Tricloro-1,2,2 trifluoretano (freon 113)			780	5930	médio
Trietilamina			20	78	máximo
Trifluormonobromometano			780	4760	médio

Vinibenzeno (vide estireno)			-	-	-
Xileno (xilol)		+	78	340	médio

* ppm - partes de vapor ou gás por milhão de partes de ar contaminado.

** mg/m³ - miligramas por metro cúbico de ar.

Fonte: Norma Regulamentadora N° 15