

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DA GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA

ANDERSON S. SANTOS, WESLEY PERES, CYRO A. A. FERRAZ

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEL – UFSJ/CEFET-MG), Departamento de Engenharia Elétrica (DEPEL), Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), São João del-Rei, MG, Brasil

andersonsampaio@yahoo.com, wesley.peres@ufsj.edu.br, cyroferraz@gmail.com

IGOR F. PRADO

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, Brasil
fprado@uesc.br

Abstract— The biomass is known as one of the sources of energy with the greatest growth potential for the coming years, being considered in the internal and international market as a major alternative energy source for energy matrix diversification. This paper proposes a biomass gasification analysis as an electric power generation option to supply the demand side of condominiums situated in the region of Vitória da Conquista - BA. For this purpose it was done a study about the available biomass in the region as well as which gasifier system best would suit for these types of biomass. The study was done describing all the gasifier system characteristics for electricity generation, with all its operation and structure.

Keywords— Primary drives, Biomass, Renewable energy, Gasifier.

Resumo— A biomassa é conhecida como uma das fontes de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos, sendo considerada no mercado interno e internacional como uma das maiores alternativas para diversificação da matriz energética. Esse trabalho apresenta uma análise da gasificação da biomassa como uma opção de geração de energia elétrica para suprir parte da demanda em um condomínio na região de Vitória da Conquista - BA. Para isso, foi realizado um estudo dos tipos de biomassa disponíveis na região bem como o sistema gasificador mais adequado para esses tipos. O estudo foi feito descrevendo todas as características do sistema de gasificador para a geração de eletricidade, com toda a sua operação e estrutura.

Palavras-chave— Acionamentos Primários, Biomassa, Energia Renovável, Gaseificador.

1 Introdução

Fontes alternativas de energia elétrica estão sendo cada vez mais debatidas mundialmente. As pesquisas realizadas no Brasil no setor de energia alternativa têm como objetivo diversificar a sua matriz energética, e com isso reduzir a dependência que existe por combustíveis fósseis, contribuindo com a redução da emissão de gases que causam o efeito estufa. No Brasil, verifica-se que há poucas aplicações nesta área (Almeida, 2013).

Sendo um dos países com menor dependência em combustíveis fósseis, a energia produzida no Brasil é cerca de 85% hídrica e os planos voltados para expansão de geração da energia dão maior enfoque na construção de grandes usinas. Esta energia é conhecida por ser limpa, contudo o seu impacto ambiental e social é enorme. Adicionalmente, a escassez de chuva pode causar um enorme déficit na produção de energia elétrica hídrica, ocasionando racionamento por meios de horário de verão e apagões (ANELL, 2008).

Nesse contexto, destaca-se outra problemática, que está relacionada aos poucos programas e investimentos do governo brasileiro para a iniciação de estudos e implantação de fontes alternativas, como a de energia elétrica através da biomassa.

Considera-se que um sistema efetivo com a implantação de energia por meios de fontes renováveis

como a gaseificação pela biomassa, ocasionaria uma economia no consumo energia elétrica oferecido pela concessionária local. Segundo (WWWF-Brasil, 2006) o Brasil pode reduzir os gastos energéticos até 2020 em 38%, dobrando a participação de fontes de energia renováveis.

Visando contribuir com os estudos na área de energia renovável, os propósitos do presente artigo são:

- i. analisar se existe efetividade na implantação de um sistema de geração de energia elétrica em condomínios de Vitória da Conquista - BA por meio de gaseificação da biomassa para atender a demanda contratada ou parte dela;
- ii. saber quais os benefícios da implantação de energia renovável na região;
- iii. dissertar a respeito dos possíveis tipos de gaseificação que são mais viáveis para a região de Vitória da Conquista e definir o sistema gaseificador mais adequado.

A justificativa para a realização deste estudo se dá aos poucos projetos de implantação de energia elétrica por meio de fontes alternativas no município de Vitória da Conquista-BA.

2 Biomassa como Fonte Energética

A Biomassa pode ser entendida do ponto de vista energético como uma matéria orgânica ou vegetal

(o bagaço de cana, a madeira, a casca de arroz, resíduos de animais e resíduos orgânicos de processos industriais), que está suscetível a transformações em diversos tipos de energia, tais como elétrica, térmica ou mecânica (Sales, Andrade & Lora, 2006).

Sabe-se que existem inúmeros tipos de tecnologias disponíveis para gerar energia elétrica por meio da biomassa: na maioria tem-se a conversão de matéria prima em um produto mediador que será utilizado em uma máquina motriz, que irá produzir energia mecânica para o acionamento de um gerador para geração de energia elétrica (ANELL, 2008).

Nos tempos atuais a biomassa é considerada como a única energia renovável que, por meio de tecnologias, pode ser convertida em combustíveis líquidos, gasosos e sólidos. Sendo ponderada como a bioenergia, como maior alternativa aos combustíveis fósseis, possui condições para tornar-se uma solução aos problemas de natureza ambientais e energéticos (Brito, Rodrigues & Oliveira, 2010).

A biomassa também é conhecida por ser uma das fontes de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos, sendo considerada no mercado interno e internacional como uma das principais fontes de energia alternativa para combater um cenário energético tão dependente dos combustíveis fósseis (ANELL, 2008).

O Brasil teve uma participação de 31,1% de produção de biomassa na matriz energética, ocupando a segunda posição dentre as fontes de energia, estando atrás apenas do petróleo e derivados. No mesmo ano foi superada apenas pela energia hídrica, ao responder por 3,7% da oferta dentre as fontes de energia elétrica de origem interna (BEM, 2008).

No ano de 2005 a biomassa foi responsável pela produção total de 183,4 TWh (terawatts-hora), ou seja, cerca de 1% da energia elétrica que foi produzida no mundo (ANELL, 2008).

3 Biomassa no Sudoeste da Bahia

De acordo com a secretaria municipal de agricultura e desenvolvimento rural de Vitória da Conquista, os tipos de biomassa que mais se destacaram na região nesses últimos anos são o cultivo de café, cana-de-açúcar e eucalipto (Almeida, 2013).

3.1 Cana-de-açúcar

Em 2010 foram cultivados 1,5 milhão de hectares com cana-de-açúcar e oleaginosas. O projeto BahiaBio tem como meta a cogeração de 2.160 MWh usando o bagaço da cana, apoiada também na utilização de outras culturas, como a soqueira do arroz e resíduos da extração de óleos vegetais.

Na região Sudoeste há a possibilidade de se cultivar 60 mil hectares, nos vales dos rios Catolé e Gongogi. Existem duas áreas identificadas como propícias para o plantio da cana, uma dessas áreas é a parte alta no vale do rio Catolé, compreendendo os

municípios de Itapetinga, Caatiba e Barra do Choça, abrangendo uma área de 20 mil hectares. A outra área, no vale do rio Gongogi, compreende os municípios de Ibicuí, Dário Meira e Itagibá, num total de 40 mil hectares (Bittencourt, 2014).

3.2 Café

Na Bahia é gerado cerca de 150 mil empregos na cafeicultura para pessoas que trabalham diretamente na lavoura e em épocas de colheita esse número chega a 260 mil, tornando a Bahia em um importante estado para economia do país (CONAB, 2013).

Destacam-se na região Sudoeste os municípios de Vitória da Conquista e Barra do Choça como os maiores produtores da região e observa-se que 95% da área plantada encontra-se em propriedades pequenas (Aguilar, 2009).

3.3 Eucalipto

O número de produtores independentes de eucalipto, segundo estimativa da FADTC/UESB, em 2005 era de 160, tendo plantado na região de Vitória da Conquista uma área total de 2500 hectares. Existem três viveiros que disponibilizam assistência técnica e muda para associados e produtores independentes. Segundo informações coletada dos viveiros, esses mesmos produtores são estimados em pelo menos 255, plantando eucalipto na região (Almeida, 2013).

4 Gaseificação

A gaseificação é a conversão de qualquer combustível líquido ou sólido, como o caso da biomassa, em gás energético através da oxidação parcial em temperaturas elevadas. Sendo assim, o agente oxidante pode ser o ar, o oxigênio ou mesmo o vapor. Esta produção de gás tem baixo poder calorífico, em torno de 4-7 MJ/Nm³ (se o agente oxidante for ar) ou 10 a 18 MJ/Nm³ (se o agente oxidante for oxigênio ou vapor). Com isso, através deste processo de gaseificação, devido ao baixo poder calorífico, o resultante denomina-se gás pobre, que é composto por CO (monóxido de carbono), CO₂ (dióxido de carbono), H₂ (hidrogênio), CH₄ (metano), N₂ (nitrogênio) se o agente oxidante for ar e demais elementos e diversos contaminantes como particulados e alcatrão. Com a produção deste gás, há possibilidade em ativar um forno de secagem de revestimento cerâmico, caldeiras, motor de combustão interna e até mesmo uma turbina a gás (Andrade, 2007).

Todavia, este procedimento de gaseificação ocorre em aparelhamentos chamados gaseificadores, onde o gás transita por quatro zonas no interior do reator divididas em secagem da biomassa, pirólise, combustão e redução. Em gaseificadores de leito fixo, durante o processo, há possibilidades de identificar determinadas zonas. Já em gaseificadores de

leito fluidizado essas zonas não podem ser distinguidas. A Figura 1 exemplifica o processo de gaseificação através do diagrama.

4.1 Tipos de Gaseificadores

Um gaseificador precisa ter a capacidade de produzir gás combustível limpo, com uma alta qualidade a partir de diversos tipos de combustíveis. Adicionalmente, precisa ter um custo compatível e ter durabilidade suficiente para uma utilização requerida, o que são condições conflitantes, sendo requerido um estudo relacionado ao combustível que será utilizado e o seu uso final (Sanches, 2010).

O gaseificador pode ser entendido como um reator onde é possível haver conversão termoquímica em gás. É plausível afirmar que existem seis tipos principais de gaseificadores, no qual todos eles podem ter aquecimento direto ou indireto: de leito fixo concorrente, de leito fixo contracorrente, de leito fixo tipo fluxo cruzado, de leito fluidizado borbulhante (LFB), de leito arrastado e de leito fluidizado circulante (LFC). Os gaseificadores são classificados de acordo com a direção do fluxo de biomassa e do agente de gaseificação, e na forma em que o reator recebe calor (Lora, 2012).

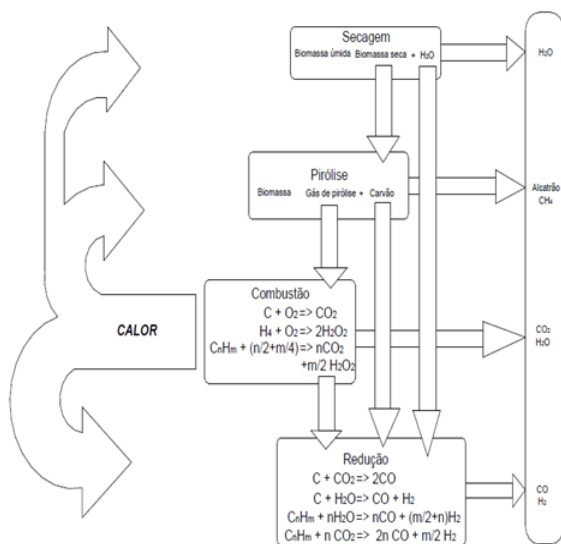


Figura 1. Diagrama do processo de gaseificação

5 Estudo de Caso

Este estudo tem como objeto avaliar e analisar uma fonte de energia limpa e renovável que possa ser aplicada em condomínios da região de Vitória da Conquista para atender a demanda contratada ou parte dela.

Segundo dados colhidos em uma empresa que presta serviços de administração em condomínios no município de Vitória da Conquista, um condomínio que possui 20 prédios de três andares com 16 apartamentos cada, localizada em um bairro mais afasta-

do do centro da cidade, teve um consumo médio em 2014 até o mês de outubro de 38.400 kW/mês, uma média de 53,33 kWh.

Tomando esses dados fornecidos será analisada a eficiência e potencial de geração dos diferentes tipos de gaseificadores com base na demanda contratada pelo prédio durante o ano, analisando ainda o sistema que obtiver melhor custo benefício para a sua implantação.

5.1 Análise do Sistema Gaseificador

O sistema de gaseificação deve ser composto no mínimo por três componentes: gaseificador, sistema de resfriamento e limpeza do gás e, por fim, o terceiro componente pode ser escolhido entre motor de combustão interna (Diesel e Otto), motor de combustão externa (Motor Stirling), turbina a gás e células combustíveis.

5.1.1 Análise do gaseificador

Cada tipo de gaseificador possui uma característica específica que o torna distinto dos outros. Nesse sentido, é necessário fazer um estudo sobre as vantagens e desvantagens que cada um oferece para a escolha do tipo mais adequado à aplicação desejada. A Tabela 1 apresenta as características de cada tipo de gaseificador.

Tabela 1. Características dos gaseificadores de leito fixo e fluidizado.

Concorrente ("down draft")	
Vantagens	Desvantagens
Construção relativamente simples e seguro	Requer baixa umidade do combustível a ser utilizado
Gás relativamente limpo	Restrição de granulometria do material a ser utilizado como combustível (não pode ser muito pequeno)
Alto potencial para conversão de carbono	Alta temperatura do gás produzido (saída)
Pouco arraste de cinzas	Possibilidade de fusão das cinzas devido as altas temperaturas de operação
Alta eficiência de conversão	
Contracorrente ("up draft")	
Vantagens	Desvantagens
Construção muito simples e robusta	Gás produzido muito sujo e com alto teor de alcatrão
Baixa temperatura dos gases de saída	Devido o gás produzido ser muito sujo, não se adequa ao uso com motores de combustão interna por necessitar de um sistema de limpeza caro
Alta eficiência térmica	
Alta conversão de carbono	
Pouco arraste de cinzas	
Alto tempo de residência dos	

sólidos	
Produz gás adequado para queima direta	
Desligamento fácil	
Excelente eficiência de conversão	
Leito fluidizado	
Vantagens	Desvantagens
Tolera variações da qualidade do combustível	Sistema de alimentação
Grande tolerância à granulometria do combustível	Pode haver aglomeração do leito
Bom controle da temperatura do leito	Demora na partida
Rápida resposta a carga	Não é de operação trivial
Excelente distribuição da temperatura do leito	Alta concentração de particulados no gás produzido
Possibilidade de processo catalítico no leito	Perda de carbono com as cinzas
Moderados níveis de alcatrão no gás produzido	
Pode operar a carga parcial	
Alta eficiência e conversão	

O conhecimento das propriedades da biomassa é também de extrema importância na escolha do gaseificador, já que essas propriedades influenciam no desempenho dos mesmos.

As principais propriedades a serem consideradas são (Almeida, 2013):

- **Composição Elementar:** é por meio desta que se obtém o poder calorífico da biomassa e sua capacidade poluidora. As biomassas que possuem níveis altos de nitrogênio e enxofre na composição elementar devem ser evitadas: as do tipo vegetal possuem quantidades baixas desses elementos;

- **Poder Calorífico Inferior (PCI):** é o fator que influencia na escolha do combustível. Na gaseificação o PCI é analisado junto com o real teor de umidade do combustível;

- **Teor de umidade:** a alta umidade na biomassa causa uma redução da temperatura de reação, prejudicando todo o processo. O limite de umidade da biomassa em base úmida (bu) é de 25% para gaseificadores do tipo concorrente, não podendo nunca ultrapassar esses níveis;

- **Granulométrica:** cada gaseificador possui uma limitação quanto a granulometria. As partículas finas causam problemas na seção de circulação do gaseificador, além de ocasionar perda de pressão levando a baixas temperaturas e produção de alcatrão, devido à alta proporção de pó no gás, o afeta o bom desempenho do gaseificador. As partículas grandes demais também afetam o desempenho causando a baixa qualidade no gás, problemas na reatividade do com-

bustível e problemas com o início da combustão. As dimensões mais indicadas das partículas para gaseificadores que utilizam madeiras, por exemplo, são 8x4x4 cm a 1x0,5x0,5 cm, variando de acordo com o desenho da planta do sistema que será implantado.

- **Massa específica aparente:** corresponde ao peso por unidade de volume do combustível empilhado. Um alto valor de massa específica representa uma alta quantidade de energia por volume. No entanto, combustíveis que possuem uma baixa massa específica podem gerar uma vazão no gás, ocasionando uma redução do poder calorífico do gás. A transformação da biomassa em briquetes, cavacos e pellets, melhoram a sua massa específica.

- **Teor de cinzas e sua composição:** o teor das cinzas varia de 0,1%, no caso da madeira, até 15% em alguns materiais agrícolas. São resíduos da combustão da biomassa, compostas por substâncias inorgânicas e metálicas. A presença das cinzas na biomassa favorece a formação de escórias, que ocasionam a deterioração do equipamento. Combustíveis com o teor de cinzas inferior a 6% não causam a formação dessas escórias.

- **Teor de voláteis:** está diretamente relacionado com o nível de alcatrão presente no gás. Sabe-se que quanto mais voláteis tenha a biomassa, maior será o teor de alcatrão nos gases. Biomassas vegetais possuem um nível de voláteis na faixa de 50% a 80%.

A Tabela 2 apresenta os requisitos para as biomassas a serem usadas em diferentes tipos de gaseificadores.

Tabela 2. Requisitos para a biomassas de diferentes tipos de gaseificadores.

Tipo de gaseificador	Extração por baixo (Concorrente)	Extração por Cima (Contra-corrente)	Leito Fluidizado	Reagentes Pré-misturados
Tamanho (mm)	20-100	5-100	10-100	<1
Teor de umidade (%bu)	< 25	< 50	< 40	< 15
Teor de Cinzas (% bs)	< 5	< 15	< 20	<20
Massa Específica Aparente (kg/m ³)	>500	>400	>100	>400
Temperatura de fusão da Cinza (°C)	>1250	>1000	>1000	>1250

Com base nos dados deste tópico, o gaseificador que melhor se encaixa neste estudo é o de leito fixo do tipo concorrente, por possuir como características: uma ampla distribuição de temperatura, uma alta eficiência na conversão de carbono em gás e uma

baixa produção de cinzas, além de produzir um gás com baixo teor de alcatrão e ser um modelo relativamente simples.

O PROINFA em parceria com BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) cobre em até 70% do projeto, com a única condição: que no mínimo 60% da tecnologia empregada seja nacional.

O BNDES investiu o equivalente a R\$ 2,1 bilhões no setor energético no primeiro trimestre de 2011, desse montante R\$ 928 milhões foram aplicados em fontes alternativas de energia.

O sistema que será instalado no condomínio pode ter uma grande parte do seu custo financiado pelo PROINFA junto ao BNDES tornando viável a sua execução.

5.1.2 Análise do sistema de resfriamento e limpeza do gás

O gás produzido no processo de gaseificação de biomassa contém impurezas como particulados, compostos alcalinos, alcatrão e compostos nitrogenados. Dependendo do projeto do gaseificador e do tipo de biomassa empregada como combustível, a concentração desses componentes pode ser menor ou maior. Esses contaminantes normalmente são incompatíveis com alguns usos finais e consequentemente é requerida uma limpeza do gás (Sales, 2007).

A limpeza do gás é necessária para a retirada de teores de alcatrão e particulados, como também para enquadrar o nível de emissão de acordo com o padrão vigente para a qualidade ambiental. Para aplicações em motores de combustão interna, é indispensável a utilização de limpeza a fim de remover o alcatrão. Desta forma é possível garantir o funcionamento da máquina térmica. O alcatrão pode obstruir as válvulas de injeção do motor, assim como pode erodir e corroer as paredes do pistão, entre outros (Sanchez, 2010).

Para a escolha do sistema de limpeza do gás é necessário observar uma série de fatores, tais como o custo operacional e de investimento, a eficiência, o nível de emissão desejado, a temperatura, o tamanho das partículas da biomassa, o espaço físico disponível e as características da biomassa.

Tabela 3. Desempenho dos principais sistemas de limpeza do gás.

Sistema de Limpeza	T (°C)	Redução do teor de particulados (%)	Redução do teor de alcatrão (%)
Filtro de areia	10 a 20	70 a 99	50 a 97
Torre de Lavagem	50 a 60	60 a 98	10 a 25
Lavador Venturi	-	-	50 a 90
Precipitador eletro-tático	40 a 60	>99	0 a 60
Filtro de mangas	130	70 a 95	0 a 50
Absorvente de alcatrão de leito fixo	80	-	50

Craqueamento catalítico	900	-	>95
-------------------------	-----	---	-----

Tomando como base a Tabela 3 o mais indicado para este projeto é o filtro de areia, pois pode chegar a uma redução de teor de particulados de 70 a 99% e de teor de alcatrão de 50 a 97%.

5.2 Análise técnico-econômica do acionamento primário

Visando identificar qual a melhor opção tecnológica para a conversão de biomassa em eletricidade, serão consideradas algumas rotas tecnológicas. Para os tipos de acionamento baseados em microturbina a gás (MTG), motor alternativo de combustão interna (MACI), motor stirling (MS) e célula de combustível (CC) são indicados para potências de 50 KW. Para potências de 100 KW são indicados os motores alternativos de combustão interna e as células de combustível. E para potências de 500 KW são indicados as microturbinas a gás, os motores de combustão interna e as células de combustível.

Foram feitos estudos que apontam os aspectos importantes para a questão de análise econômica, para o custo de kWh produzido e sobre a taxa interna de retorno (TIR), a partir dos tipos de acionamentos microturbina a gás (MTG), motor alternativo de combustão interna (MACI), motor stirling (MS) e célula de combustível (CC). Estes estudos tomaram como base dados colhidos em 2006 e 2005. Para a base de cálculo, o valor do dólar utilizado foi de R\$ 2,20, a taxa de juros 12%, o poder calorífico do gás foi definido em 5,6 MJ/Kg e o tempo de duração do sistema foi estipulado em 6570 horas por ano. Pode-se analisar o resultado destes cálculos por meio da Tabela 4 (Sales, 2006).

Com base nas análises feitas a partir da Tabela 4, a tecnologia gaseificador com microturbina a gás obteve valores favoráveis de viabilidade, aproximando aos de motores alternativos de combustão interna. Por outro lado, o motor Stirling e a célula combustível obtiveram uma taxa interna de retorno muito baixa e custos elevados de geração de energia e de investimento específicos.

Para que tecnologias emergentes, como o motor Stirling e a Célula a Combustível, tornem-se viáveis segundo a análise econômica, teria que se elevar o valor da tarifa média de energia para 400 R\$/MWh, tendo um tempo de retorno de aproximadamente 10 anos. Com esses números os investimentos sobre esse tipo de tecnologia é desencorajado, já que a tarifa média de energia é de 200 R\$/MWh.

De acordo com as análises realizadas nesta seção, é possível perceber que a tecnologia que apresenta maior viabilidade econômica para a faixa de potência que possa atender parte da demanda dos prédios, no caso 500 kW, foi o motor alternativo de combustão interna, pois apresentou a maior taxa interna de retorno, menor custo de energia e menor custo investimento específico comparado as outras tecnologias.

Tabela 4. Resultados da avaliação técnico-econômico.

Avaliação técnico-econômica	Unidades	G/MCAI			C/MTG G/TG		G/MS	G/CC		
Potência	kW	50	100	500	50	500	50	50	100	500
Investimento Analisado	R\$/ano	21444	35084	130191	30730	330266	65344	69565	129639	596211
Custo com combustível	R\$/ano	12041	24082	120410	12041	120410	13761	8601	17201	86007
Custo O&M	R\$/ano	9395	18790	93951	4336	43362	12286	39420	78840	394200
Custo Operacional anual total	R\$/ano	42880	77956	344552	47108	494039	91391	117586	225680	1076418
Custo da energia elétrica gerada	R\$/MWh	130.53	118.66	104.89	143.40	150.39	278.21	357.95	343.50	327.68
Custo Investimento Específico	R\$/KW(instal)	2921.0	2389.5	1773.4	4186.0	3038.4	8901.0	9476.0	8829.5	8121.4
Tempo de retorno	Anos	4.45	3.45	2.43	6.28	4.07	9.93	8.82	7.85	6.89
Valor Presente Líquido	R\$	138773	324997	1900037	61951	1131817	1544	30744	119208	912163
Taxa Interna de Retorno	%	29.7	36.7	49.8	19.6	30.1	12.1	13.7	15.6	17.9

5.3 Análises da eficiência de um sistema de gaseificação com biomassas acessíveis na região

Neste seção será feita uma análise da eficiência de biomassas acessíveis na região em um sistema gaseificador, tendo como base o estudo desenvolvido em (Figueiredo, 2012), no qual foi analisada a eficiência (a frio), pois o gás a ser utilizado é resfriado próximo a temperatura ambiente.

O sistema de gaseificação analisado utiliza um gaseificador do tipo concorrente e motor de combustão interna como acionamento primário, por serem os mais indicados para o este sistema, em razões e motivos já citados nos itens 5.1 e 5.2.

Para o cálculo da eficiência será utilizado dados obtidos por (Figueiredo, 2012) em seu estudo:

$$\eta_{\text{frio}} = \frac{\dot{V}_g \cdot q_g}{\dot{m}_{\text{comb}} \cdot C_{\text{comb}}} \times 100(\%) \quad (1)$$

onde:

η_{frio} = Eficiência a frio;

$\dot{V}_g$ = Vazão média volumétrica do gás produzido (m^3/s);

q_g = Poder calorífico do gás gerado (KJ/m^3);

$\dot{m}_{\text{comb}}$ = Vazão mássica do combustível injetado (Kg/s);

C_{comb} = Poder calorífico do combustível (KJ/m^3);

• Bagaço de cana-de-açúcar

Para a conversão do PCI do bagaço de cano de Kcal/Kg para KJ/kg, é utilizado que 1 kcal/kg corresponde a 4,185 KJ/kg (Almeida, 2014).

Para cálculo da eficiência a frio do sistema com bagaço de cana-de-açúcar (umidade de 20%) e utilizando o seu poder calorífico inferior (PCI) como igual a 3.200 kcal/kg obteve-se os seguintes resultados (Figueiredo, 2012):

$$\dot{V}_g \cong 67 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0186 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$q_g \cong 5.480 \text{ KJ}/\text{m}^3;$$

$$\dot{m}_{\text{comb}} \cong 49,6 \text{ kg}/\text{h} = 0,01377 \text{ kg}/\text{s};$$

$$C_{\text{comb}} = 13.392 \text{ KJ}/\text{kg}.$$

$$\eta_{\text{frio}} = \frac{0,0186 \times 5.480}{0,01377 \times 13.392} \times 100(\%)$$

$$\eta_{\text{frio}} \cong 55,27 \text{ }.$$

• Lenha de Eucalipto

A gaseificação de lenha de eucalipto, tendo o consumo da biomassa pelo gaseificador igual a 49,6 kg/h e a vazão do gás produzido igual a 67 m^3/h , teremos os seguintes resultados aplicando a Equação (1) como base:

$$\eta_{\text{frio}} = \frac{0,0186 \times 5.480}{0,01377 \times 25.043,42} \times 100(\%)$$

$$\eta_{\text{frio}} \cong 29,56 \%$$

- *Lenha de café*

Teremos os seguintes resultados aplicando a Equação (1).

$$\dot{V}_g \cong 67 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0186 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$q_g \cong 5.480 \text{ KJ/m}^3;$$

$$\dot{m}_{\text{comb}} \cong 49,6 \text{ Kg/h} = 0,01377 \text{ kg/s};$$

$$C_{\text{comb}} = 19.108,47 \text{ KJ/kg.}$$

$$\eta_{\text{frio}} = \frac{0,0186 \times 5.480}{0,01377 \times 19.108,47} \times 100(\%)$$

$$\eta_{\text{frio}} \cong 38,74 \%$$

4.4 Eficiência do sistema gaseificador com motor de combustão interna como acionamento primário

A taxa de consumo de biomassa e a potência gerada pelo sistema podem ser obtidas pela relação da equação (2). Estudos feitos por (Figueiredo, 2012), teve por base a taxa de consumo igual a 49,6 kg/h para gerar uma carga de 26 kW por hora, neste caso tinha eficiência calculada de 1,9. Com isso permite dizer que para se produzir 1 kW é necessário 1,9 kg de biomassa.

$$\eta = \frac{Q_b}{P} \quad (2)$$

onde:

η = Eficiência do sistema;

Q_b = Quantidade de biomassa consumida pelo sistema (kg/h);

P = Quantidade de energia produzida (kW/h);

De acordo com os dados apresentados e presumindo que o sistema opere por 24 horas, aplicando a equação 3 seriam necessários 1.194,4 kg de biomassa por dia, ou seja, 35.832,0 kg mensais.

$$\text{Consumo diário} = Q_b \times t \quad (3)$$

onde:

Consumo diário = quantidade consumida de biomassa por dia;

Q_b = taxa de consumo de biomassa;

t = tempo de operação do sistema por dia;

A produtividade média brasileira de cana-de-açúcar é de 79.769 kg/ha (CONAB, 2013).

Para cada 1000 kg de cana-de-açúcar são gerados 550 kg de bagaço. A produção de bagaço na região seria de 2.632.377.000 kg por safra, o que representa 219.364.750 kg de bagaço por mês, uma vez que a safra de cana é por ano. Este valor atende seguramente a demanda do sistema. A produtividade média do eucalipto por ano é de 40 m³/ha, sendo que a área na região plantada é de 2.500 ha, dando uma produção de 100.00 m³/ha por ano. A densidade do eucalipto varia, dependendo da espécie, de 500 kg/m³ a 1000 kg/m³. Levando em consideração o valor de 500 kg/m³, como margem de segurança, isso representa uma produção anual de 50.000.000 kg de eucalipto / ano, dando uma produção mensal de 4.166.666.67 kg, o que atende seguramente a demanda do sistema (CONAB, 2013).

Para o café essa análise é muito difícil de ser feita, pois a lenha de café só se obtém quando ocorre a troca dos pés velhos por novos, e essa renovação não é feita anualmente.

6 Conclusão

Este estudo traz informações a respeito do aproveitamento da biomassa para a geração de energia elétrica por meio da gaseificação no município de Vitória da Conquista. É possível observar de forma sucinta o aproveitamento de resíduos de biomassas que são produzidas na região com a implantação deste sistema.

Utilizando o sistema de gaseificação com o sistema primário o motor de combustão interna pode-se chegar a gerar 26 kW por hora com uma relação de 1,9 kg para 1 kW, sendo esse valor capaz de atender cerca de 48,75% da demanda contratada pelo condomínio analisado que teve um consumo médio em 2014 de 53,33 kw / hora.

A geração de energia elétrica através da gaseificação é apenas uma forma de aproveitamento energético da biomassa, existem outras rotas tecnológicas que ainda podem ser estudadas para aproveitamento de resíduos de biomassa, que tem a sua grande parte descartada, sendo que poderia ser utilizada para a geração de energia.

Pode-se notar com este estudo que a geração de energia elétrica por meio da gaseificação da biomassa pode contribuir diretamente com a diversificação energética do país, e além deste benefício pode agregar valor econômico aos resíduos de biomassa, criando mais uma fonte de renda para os produtores onde essa tecnologia for implantada.

Deve ser considerado que a tecnologia analisada está em fase de desenvolvimento, e até o momento não atingiu uma escala comercial, podendo nos próximos anos ter uma redução dos custos de investimento, tornando-o viável. Espera-se que o governo promova mais incentivos ao desenvolvimento de

fontes alternativas de energia, programas de eficiência energética, entre outros, para que contribua com a diversificação da matriz energética.

A produção de eletricidade a partir da biomassa é sustentável do ponto de vista ambiental, social e econômica. A principal justificativa para o seu uso são os benefícios ambientais durante todas as etapas da produção de eletricidade.

Agradecimentos

Agradecimentos são prestados à FAPEMIG, CAPES, PPGEL/UFSJ e CNPq pelo auxílio financeiro.

Referências Bibliográficas

- Aguiar, A. G. (2009). Aspectos fitossanitários em cafeeiro no sudoeste da Bahia: influência do genótipo e do espaçamento de plantio. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista.
- Almeida, A. S. (2013). Sistema de geração de energia pela gaseificação da biomassa. Dissertação (Graduação no curso de Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.
- Andrade, R. V. Gaseificação de Biomassa: Uma Análise Teórica e Experimental. Dissertação (Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Itajubá, 2007.
- ANEEL. (2015). Atlas de energia elétrica do Brasil, 2ª edição, Brasília.
- ANEEL. (2008). Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3ª edição, Brasília.
- BEM. (2008). Balanço Energético Nacional.
- Bittencourt, E. (2014). Bahia terá 30 novas usinas. Disponível em: <http://www.canalbioenergia.com.br/secao.php?idSecao=64> . Acessado em 17/09/14.
- Brito, P., Rodrigues, L. and Oliveira, A. (2010) Aproveitamento Energético de Biomassa. Artigo CI3.
- CONAB. (2013). Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-açúcar, Agosto.
- CONAB. (2013). Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-açúcar, Agosto.
- Figueiredo, L. F. (2012). Avaliação de uma unidade autônoma de Produção de energia elétrica composta por Sistema de gaseificação concorrente e grupo Gerador com capacidade de 50 KVA. Dissertação (Tese de Mestrado apresentada ao Centro de Tecnologia e Urbanismo), Universidade Estadual de Londrina.
- Lora, E. E, et al. (2012) Biocombustíveis. Volume 1.
- Sales, C. A. V. B. (2007). Avaliação técnico-econômica da conversão da biomassa em eletricidade utilizando tecnologia da gaseificação. Dissertação (Tese de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá.
- Sales, C. A. V. B., Andrade, R. V. and Lora, E. E. S. (2006). Geração de Eletricidade a Partir da gaseificação de biomassa. Artigo, Universidade Federal de Itajubá.
- Sanches, C. G. (2010). Tecnologia da gaseificação. UNICAMP, departamento de engenharia térmica e fluidos.
- WWF-Brasil. (2006). Estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo. Agenda elétrica sustentável 2020, Brasília.