

Potencial de Geração de Energia Utilizando Biomassa de Resíduos no Estado do Pará

G. Pinheiro, CELPA e G. Rendeiro, UFPA

Resumo - Este trabalho apresenta dados referentes ao potencial de geração de energia com biomassa constituída por resíduos florestais no Estado do Pará, e a distribuição dos potenciais geradores nos municípios, obtido através de levantamento georeferenciado das empresas produtoras de resíduos no Estado. São apresentadas as alternativas de entrada desta geração no sistema interligado e isolado, conclusões quanto à viabilidade técnica e econômica da instalação de unidades geradoras visando o aproveitamento da biomassa identificada, e a relevância da entrada desta geração para substituição à geração dieselétrica no sistema isolado atendido pela concessionária. **Palavras-chave** – fontes renováveis, biomassa, resíduos florestais, ciclo vapor, potencial energético.

I. INTRODUÇÃO

A biomassa constituída de resíduos resultantes de processos industriais é uma das alternativas consideradas para geração de energia com fontes e/ou tecnologias não convencionais. A agroindústria e a indústria florestal, dentre elas a sucro-alcooleira, papel celulose e madeira, são exemplos de setores que produzem resíduos com potencial importante de aproveitamento energético no Brasil. A queima direta desses resíduos em usinas que geram energia com tecnologia baseada no ciclo a vapor, apresenta como vantagem o custo do calor gerado reduzido, visto não haver processamento da biomassa a fim de obter características mais homogêneas para o combustível, este fato proporciona um custo de geração de energia mais competitivo, adicionalmente cabe ressaltar que usinas a vapor têm tecnologia completamente desenvolvida, sendo possível à implantação de usinas baseadas nesta tecnologia em curto prazo.

No Estado do Pará o setor madeireiro, em particular, gera quantidade significativa de resíduos. São produzidos em torno de seis milhões de metros cúbicos de resíduo por ano, deste volume, em torno de 3,2 milhões de metros cúbicos tem potencial de aproveitamento para geração de energia.

Em usinas a vapor, os resíduos produzidos no Estado do Pará com possibilidade de aproveitamento representam um potencial em torno de 150 MW, este potencial encontra-se distribuído nos municípios do Estado nas diversas empresas madeireiras, que geralmente estão localizadas próximas aos

núcleos urbanos. Considerando a demanda máxima dos municípios e a disposição geográfica dos potenciais geradores, esta geração tem penetração considerável em algumas regiões do Estado.

Como no caso da geração utilizando biomassa de resíduos, o custo de transporte pode inviabilizar a construção de uma usina, é desejável a implantação da mesma no próprio local de geração do resíduo, sendo assim, o aproveitamento deste potencial a princípio seria através da autoprodução de energia pelas empresas madeireiras, sendo que parte dessas empresas com possibilidade de atuar como autoprodutor com excedente, deve-se considerar que em alguns casos é viável a construção de uma usina gerando energia com todo o resíduo produzido em um município.

Este trabalho tem como objetivos apresentar o potencial de geração de energia com biomassa (resíduos florestais) no Estado do Pará, a distribuição dos potenciais geradores nos municípios do Estado, as possibilidades de entrada da geração no sistema interligado e isolado do Estado, e conclusões quanto à viabilidade técnica e econômica da instalação de potência visando o aproveitamento da biomassa identificada.

II. METODOLOGIA

A. Levantamento de Campo

O potencial de geração foi estimado com base no volume de resíduos gerado pelas empresas, cujo valor foi obtido durante levantamento de campo, realizado no período de 2004 a 2005.

Antes de iniciar o trabalho de campo foi obtido junto a FIEPA - Federação das Indústrias do Estado do Pará, informações referentes aos setores produtores de resíduos no Estado, esta primeira etapa teve como objetivo identificar e direcionar o levantamento de campo para as empresas que produzem quantidade de resíduos suficiente para suprir uma usina de geração de energia. No Estado do Pará o setor produtivo que gera maior quantidade de resíduos de biomassa é o setor madeireiro.

O levantamento de campo foi realizado nos 143 municípios do Estado, a maior parte das empresas produtoras de resíduos foram identificadas através dos Sindicatos das indústrias madeireiras regionais.

Nas visitas de campo as empresas foram georeferenciadas, e além das informações de volume de resíduos foram coletadas amostras para execução dos ensaios de caracteri-

Este trabalho foi apoiado pela Centrais Elétricas do Pará S/A - CELPA. M.Sc. G. Pinheiro é aluno do curso de Pós-graduação do Depto de Engenharia Elétrica e da Computação da Universidade Federal do Pará (UFPA) e engenheira da CELPA (e-mail: giorgianna.pinheiro@redecelpa.com.br).

M.Sc. G. Rendeiro é pesquisador e professor da UFPA.

zação do resíduo como combustível, bem como levantadas informações relativas à produção das empresas, como por exemplo, espécies processadas, índice de aproveitamento, forma de armazenamento, entre outras. Um banco de dados georeferenciado foi elaborado com as informações coletadas

[1]. A Figura 1 mostra o mapa de produção de resíduos do Estado, onde se observa maior concentração em quatro das cinco principais zonas madeireiras do Estado, referentes às zonas leste, estuário, central e oeste.

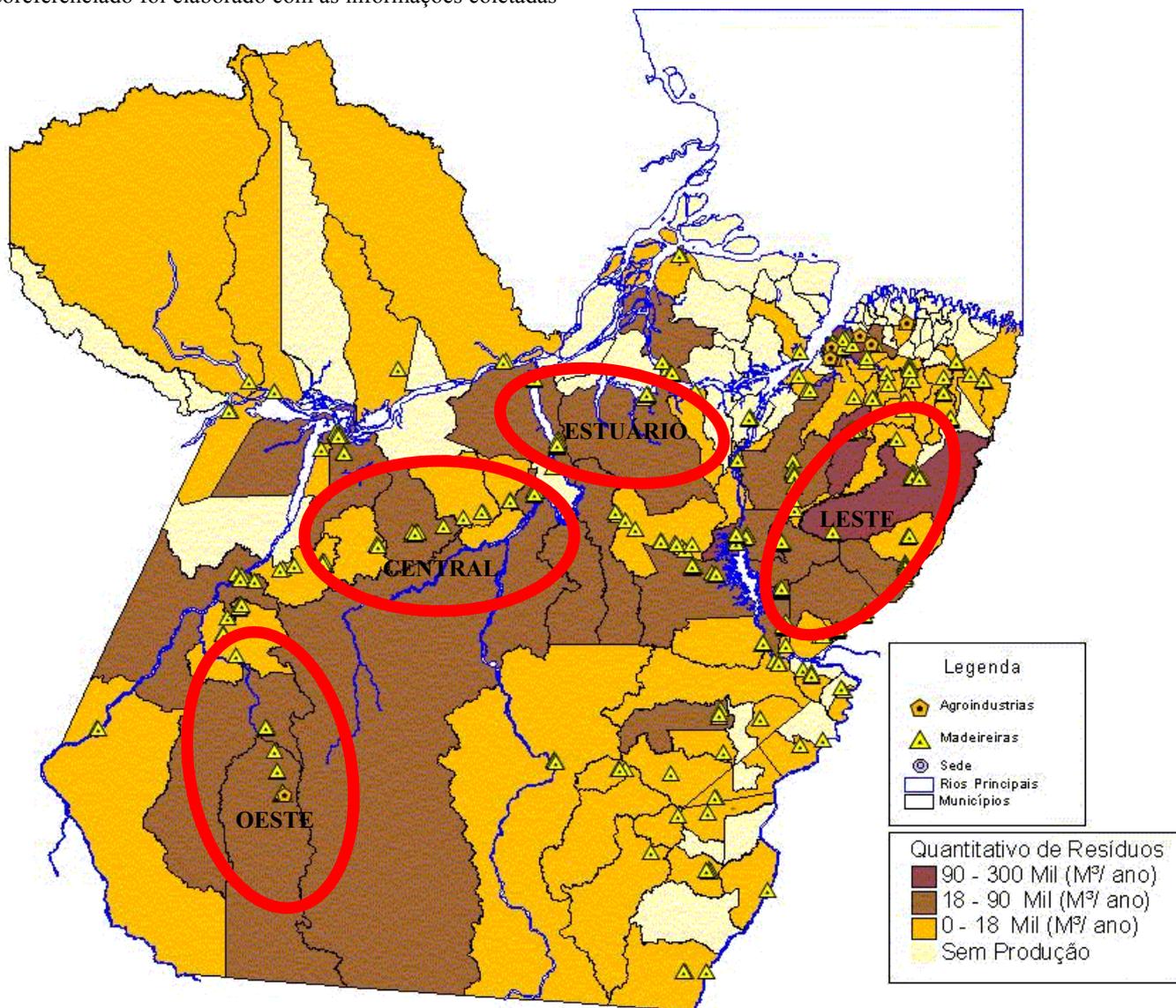


Figura1. Mapa de resíduos do Estado do Pará.

Foi identificado um volume em torno de 3,2 milhões de m³/ano de resíduos produzidos, 98% dos produtores de resíduos com potencial pertencem ao setor madeireiro, essas empresas localizam-se próximas aos núcleos urbanos dos municípios, tendo em vista que o transporte é um fator bastante crítico para viabilização de geração com biomassa, a princípio o potencial deve ser aproveitado com a implantação de geração no próprio município de origem da biomassa, próximo à rede de distribuição existente.

B. Ensaios de Laboratório

As características técnicas mais importantes da biomassa como fonte de energia são: a composição química (elementar e imediata), a umidade e poder calorífico [2].

Neste trabalho foram realizados ensaios para determinação da composição química imediata (teor de voláteis, teor de carbono fixo e teor de cinzas), umidade, poder calorífico e densidade a granel em amostras de resíduos coletados durante as visitas de campo. Foram adotadas como referência para execução dos ensaios as seguintes normas brasileiras existentes para carvão vegetal, que se adequaram aos resíduos estudados:

- NBR 6923 – Carvão Vegetal - Amostragem e Preparação da Amostra, que define os procedimentos de coleta e preparação de amostras para realização de ensaios de caracterização de carvão vegetal;

- NBR 8112 – Carvão Vegetal – Análise Imediata, destinada a determinação dos teores de umidade, cinzas, matérias voláteis e carbono fixo de carvão vegetal;
- NBR 8633 – Determinação do Poder Calorífico, prescreve o método de determinação do poder calorífico superior do carvão vegetal a volume constante, em uma bomba calorimétrica adiabática, isotérmica ou estática;
- NBR 6922 – Determinação da Massa Específica (Densidade a Granel), prescreve o método de determinação da massa específica do carvão vegetal como recebido.

A partir dos resultados dos ensaios foram calculados o poder calorífico inferior – PCI e a densidade energética das biomassas para comparação do desempenho das mesmas como combustível.

Entendendo-se por densidade energética como a quantidade de energia por unidade de volume de um combustível, foi obtida pelo produto do PCI com a densidade a granel das amostras.

O poder calorífico inferior foi obtido através da equação 1 [3]:

$$PCI = (1 - a)PCS - 9(1 - a)h_{hv(25^\circ C)} - a.h_{hv(25^\circ C)} \quad (1)$$

Onde PCI = poder calorífico inferior; PCS = poder calorífico superior; a = umidade base úmida; h = teor de hidrogênio do material seco; $h_{hv(25^\circ C)}$ = entalpia de vaporização da água a 25°C.

O teor de hidrogênio foi calculado a partir da seguinte equação empírica (formula de Seyler), obtida em [4]:

$$h = 0,069 \left(PCS' \frac{1}{100} + MV' \right) - 2,87 \quad (2)$$

Onde: h = teor de hidrogênio; PCS' = poder calorífico em base seca e isenta de cinza; MV' = matéria volátil em base seca e isenta de cinza.

As figuras 2, 3 e 4 mostram os resultados dos ensaios obtidos em trinta e oito das amostras estudadas, a fim de exemplificar o comportamento típico dos resíduos florestais e agroindustriais encontrados em campo. Observa-se grande variação da umidade dos resíduos, e a pouca influência do tipo de biomassa no poder calorífico superior das amostras, quanto ao poder calorífico inferior a umidade foi a característica determinante, reduzindo significativamente os valores obtidos para o PCI.

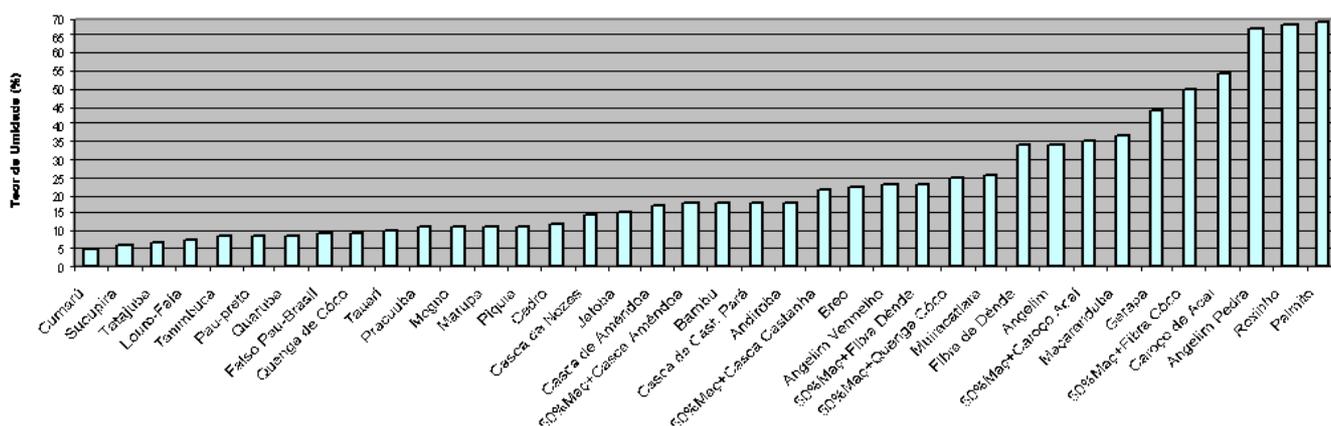


Figura 2. Resultados dos ensaios de umidade.

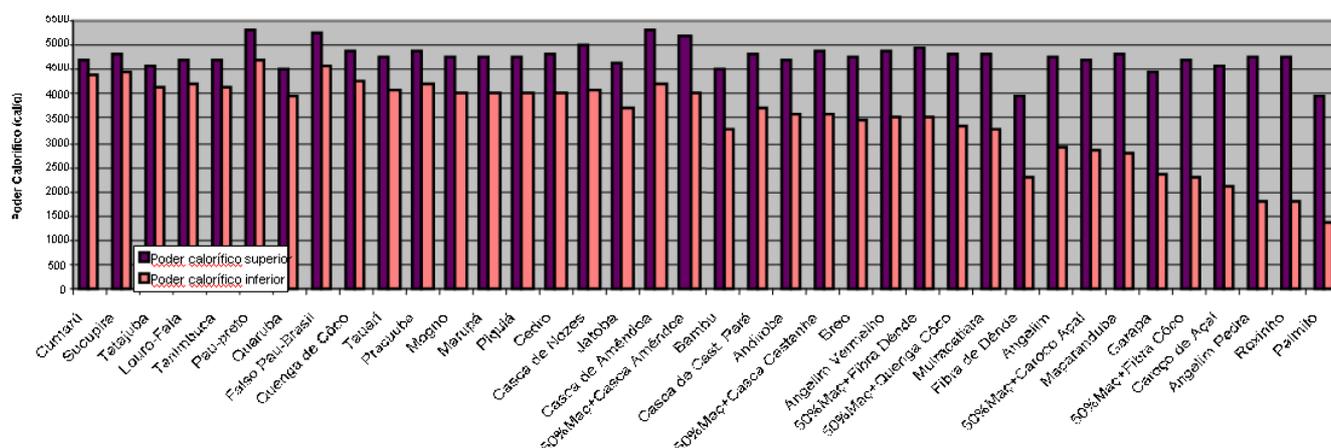


Figura 3. Resultados dos ensaios de poder calorífico.

- Teor de voláteis – entre 75 e 85 %;
- Teor de Cinzas – entre 0 e 5 %;
- Teor de carbono fixo – entre 15 e 25 %.

Quanto à análise química imediata, todas as amostras apresentaram valores semelhantes, dentro das seguintes faixas:

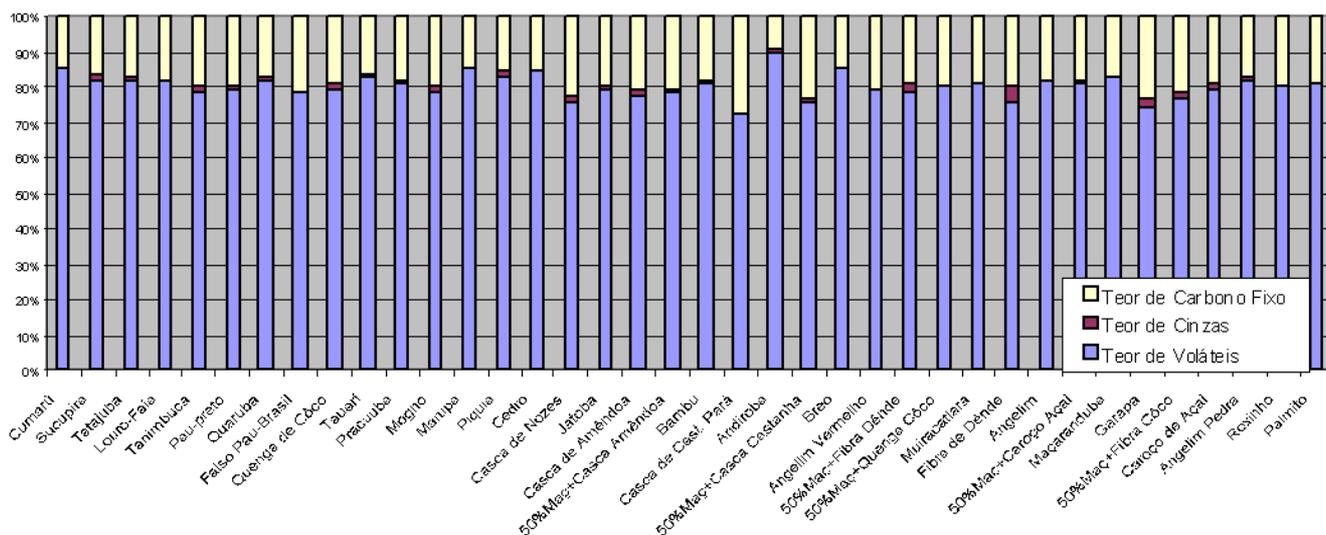


Figura 4. Resultados dos ensaios de análise química imediata.

III. POTENCIAL DE GERAÇÃO

O potencial de geração foi obtido a partir das características apresentadas nas Tabelas 1 e 2. No caso das características típicas da biomassa foram considerados valores médios a partir dos resultados da campanha de ensaios realizados nas amostras de resíduos coletadas em campo.

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DA BIOMASSA UTILIZADA [5]

BIOMASSA	PCI (kcal/kg)	DENSIDADE A GRANEL (kg/m ³)	ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA			
			UMIDADE (%)	TEOR DE VOLÁTEIS (%)	TEOR DE CINZAS (%)	TEOR DE CARBONO FIXO (%)
Serragem de madeira	3.000	200	30	80	1	19

TABELA 2: CARACTERÍSTICAS GERAIS ADOTADAS PARA OS EQUIPAMENTOS

EQUIPAMENTO	PARÂMETRO	VALOR ADOTADO
Caldeira	Eficiência	85%
	Pressão de Saída	21 kof/cm ²
	Temperatura de Saída	213,9 °C
Turbina a Vapor	Eficiência	35%
	Consumo Específico	2,5 kg _{biomassa} /kWh
Gerador	Eficiência	95%
	Tipo	Gerador síncrono

O potencial de geração obtido a partir destas considerações foi de 150 MW no Estado, a Figura 5 apresenta o mapa de distribuição de potencial no Estado, a região leste possui maior potencialidade, visto tratar-se de uma importante zona madeireira, as figuras 6 e 7 apresentam as faixas de potenci-

al típicas que foram identificadas nas empresas e nos municípios, em média as empresas levantadas apresentaram individualmente potencial na faixa de 100 kW a 400 kW, e grande parte dos municípios potencial na faixa de 500 kW a 5000 kW, 80 % dos municípios com potencial pertencem ao sistema interligado nacional, esta característica direcionou os estudos de viabilidade a considerar o transporte de biomassa de municípios com geração de resíduos, porém pertencentes ao sistema interligado aos municípios sem disponibilidade de resíduos que estão isolados e, atualmente são atendidos por usinas dieselétricas, visto que a princípio é mais viável a geração com biomassa no sistema isolado. Porém cabe ressaltar que a autoprodução nas empresas com biomassa própria, em muitos casos pode ser mais viável que a compra de energia da concessionária mesmo que as empresas estejam em municípios interligados. Tendo em vista os fatores mencionados as avaliações de viabilidade foram realizadas considerando os seguintes cenários:

- Atendimento aos municípios do sistema isolado do Estado;
- Autoprodução pelas empresas produtoras de resíduos instaladas em municípios isolados e interligados;
- Transporte de biomassa dos municípios do sistema interligado com excedente de resíduos, para atendimento aos municípios do sistema isolado;
- Aproveitamento do excedente de geração por empresa (autoprodução com excedente, várias usinas por Município);
- Aproveitamento do potencial por Município (coleta e queima em uma única usina de toda a biomassa do Município).

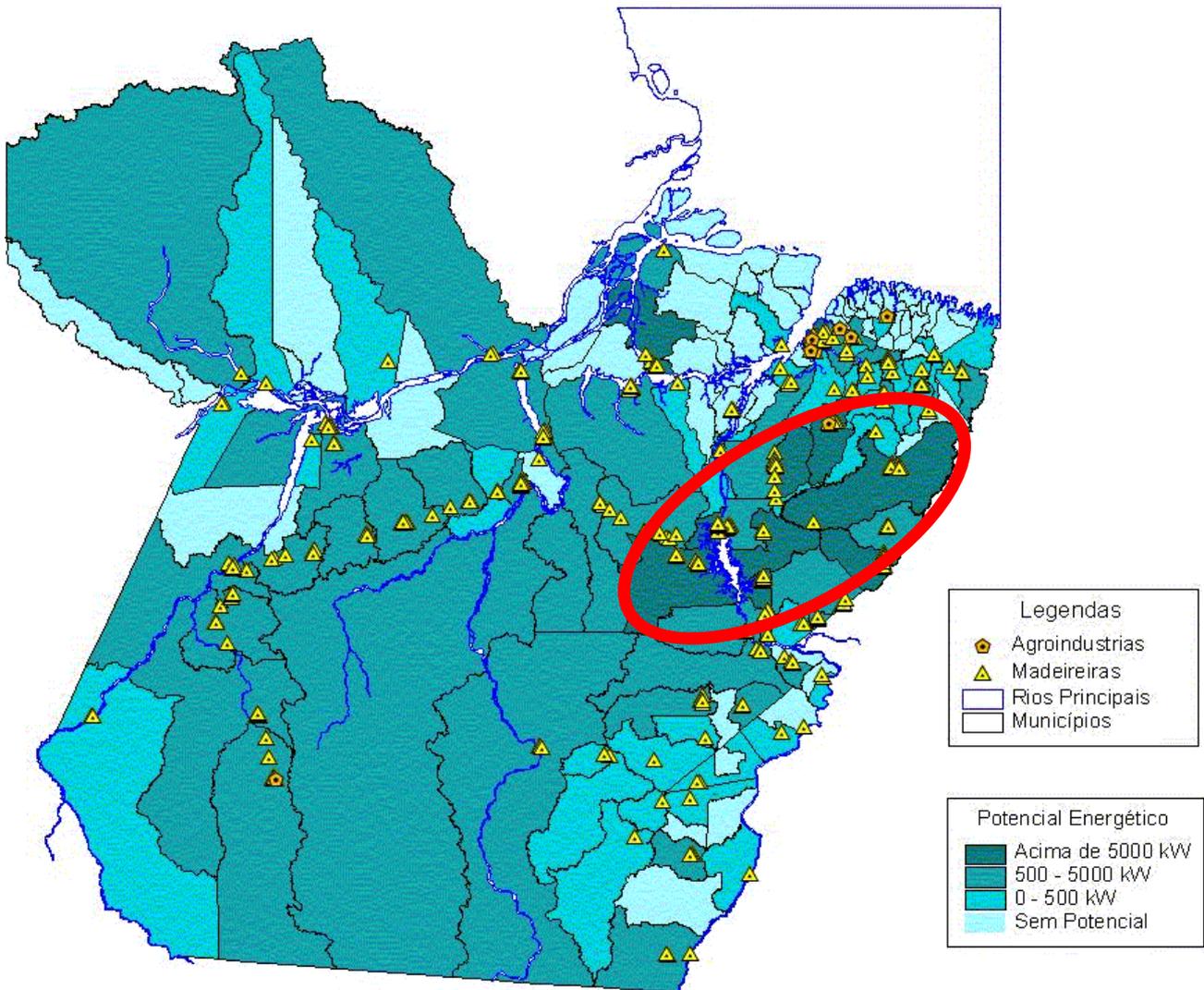


Figura 5. Mapa de potencial no Estado do Pará.

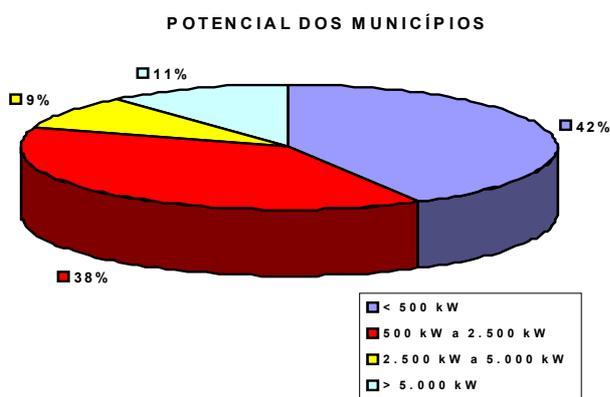


Figura 6. Faixas de potencial por empresa.

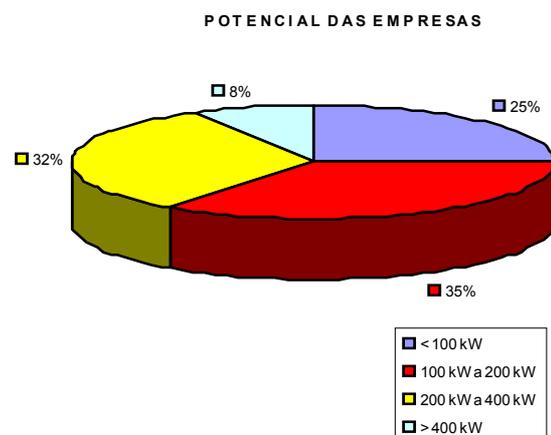


Figura 7. Faixas de potencial por Município.

IV. VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

A tecnologia considerada para o estudo de viabilidade da geração com a biomassa disponível no Estado, foi a queima direta utilizando o ciclo Rankine (caldeira e turbina a vapor)

esta tecnologia tem disponível comercialmente equipamentos nacionais na faixa potência desde 50 kW até 75 MW. O tamanho da usina foi definido pela disponibilidade de biomassa e sua sustentabilidade ao longo de pelo menos 25 anos, estes sistemas com um consumo específico de 2,5 Kg

de biomassa/kWh quando são utilizadas máquinas rotativas de consumo específico de 10 Kg de vapor/kWh gerado, sendo esta a característica adotada para o estudo.

Cabe ressaltar que as usinas a vapor possuem baixos custos de manutenção se comparadas às usinas térmicas a diesel que operam atendendo o sistema isolado do Estado, tendo em vista a fácil operação, podem ser implantadas em locais de difícil acesso como normalmente são os municípios isolados.

O custo de implantação adotado foi de US\$1000,00/kW para potências acima de 1.000 kW e US\$1.300,00/kW para potências inferiores. Como citado anteriormente o custo de O&M obtido nas avaliações foi considerado atrativo quando comparado com as demais fontes de energia, especialmente as das usinas dieselétricas, cujo valor chega a ser 6,4 vezes menor.

Sem considerar a possibilidade de agregar valores de receita provenientes da CCC - Conta Consumo Combustível, CDE – Conta de Desenvolvimento Energético, RGR – Reserva Global de Reversão e Créditos de Carbono, apenas focalizando o valor de mercado do kWh hoje praticado, observou-se que o sistema é plenamente viável economicamente, auferindo uma taxa interna de retorno de 27,5%. Considerando também a utilização da receita de CCC via deslocamento de diesel, as avaliações de viabilidade econômica demonstraram que o investimento se paga em no máximo 5 anos, considerando as condições de financiamento praticadas pelo BNDES e a disponibilidade própria da biomassa pelo produtor de energia. Pela atratividade técnica e econômica, tais sistemas podem ser replicados com sucesso principalmente em localidades isoladas do setor elétrico, onde há predominância da geração diesel e até mesmo nos sistemas interligados, onde seja verificada a disponibilidade e a sustentabilidade do fornecimento da biomassa.

Foram realizadas avaliações da viabilidade de transporte de biomassa entre mesoregiões no Estado do Pará, para abastecimento de sistemas isolados e até mesmo de sistemas interligados, tendo sido demonstrada uma viabilidade econômica importante em função dos custos de transporte praticados (US\$10,00/ton para fluvial e US\$30,00/ton para o rodoviário a cada 100 km), tornando o custo da biomassa para estes casos não superior a US\$4,40/ton, gerando assim um atrativo econômico tanto para os produtores de resíduos como para os produtores de energia.

V. CONCLUSÕES

No Pará há potencial interessante de geração de energia utilizando biomassa de resíduos, este potencial encontra-se “pulverizado” nas empresas geradoras de resíduos, que estão localizadas próximas aos centros urbanos dos Municípios, a maior parte do potencial com biomassa encontra-se nos municípios do sistema interligado nacional, podendo ser aproveitado como autoprodução, sendo viável também em muitos casos o transporte de biomassa para Municípios do sistema isolado. No sistema isolado o custo do kWh da geração a biomassa é menor que o custo da geração dieselétrica atualmente instalada.

O aproveitamento adequado deste potencial permite também:

- Dar destinação adequada a resíduos gerados por um dos principais setores da economia do Estado;
- Eliminar o consumo de óleo diesel para geração de energia em sistemas isolados;
- Reduzir a emissão de CO₂ nos Municípios isolados do Estado.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Relatório Técnico de Acompanhamento. Projeto de P&D Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do Potencial de Biomassa Disponível no Estado do Pará para Geração de Energia Elétrica Utilizando os Resíduos da Indústria Madeireira, do Alumínio e Agroindústria. Belém, junho de 2004.
- [2] NOGUEIRA, L. A. H. e LORA, E. E. S. Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações, 2a Edição, Rio de Janeiro, 2003.
- [3] LIN CHAU JEN Estequiometria das reações de combustão, Curso de Combustão Industrial AET IPT, p. 4-21, 1987.
- [4] GOMIDE, R.; Estequiometria Industrial. 3 ed. São Paulo, 1984.
- [5] PINHEIRO, G.; RENDEIRO, G.; PINHO J. Resíduos do Setor Madeireiro: Aproveitamento Energético. Biomassa & Energia, v. 1, n. 2, p. 199-208, 2004.