**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP-FEA-IEE-IF**

RODRIGO LUIZ GUARNETTI

**COGERAÇÃO DE ELETRICIDADE UTILIZANDO BAMBU NO BRASIL:
ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS.**

**SÃO PAULO
2013**

RODRIGO LUIZ GUARNETTI

**COGERAÇÃO DE ELETRICIDADE UTILIZANDO BAMBU NO BRASIL:
ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

**Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação
em Energia (Escola Politécnica – Faculdade de
Economia e Administração – Instituto de Energia e
Ambiente) para a obtenção do título de Doutor em
Energia**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Suani Teixeira Coelho

Versão Corrigida

(versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

**SÃO PAULO
2013**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Guarnetti, Rodrigo Luiz.

Cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil: aspectos técnicos econômicos e ambientais / Rodrigo Luiz Guarnetti; orientador: Suani Teixeira Coelho. – São Paulo, 2013.
156f.: il.; 30 cm.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia)
EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo

1. Energia de Biomassa. 2. Cogeração. 3. Combustíveis alternativos 4. Eletricidade. Título.

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP-FEA-IEE-IF**

RODRIGO LUIZ GUARNETTI

*Cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil: aspectos técnicos,
econômicos e ambientais*

Tese defendida e aprovada pela Comissão Julgadora

Prof.^a. Dr.^a. Suani Teixeira Coelho – PPGE/USP
Orientadora e Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani – PPGE/USP

Prof.^a. Dr.^a. Patrícia Helena Lara dos Santos Matai – PPGE/USP

Prof. Dr. Osvaldo Lívio Soliano Pereira – UNIFACS

Prof. Dr. Marco Antonio dos Reis Pereira - UNESP

DEDICATÓRIA

Dedico essa tese a todas as pessoas que de certa forma contribuíram para a realização desse sonho. Em especial, Fátima Machado, companheira e amiga que desde o início incentivou e apoiou meu ingresso no doutorado.

AGRADECIMENTOS

A Universidade de São Paulo pela oportunidade que me foi concedida.

Ao Instituto de Energia e Ambiente pelo apoio e utilização das instalações.

A minha orientadora, a Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho que de forma brilhante me incentivou e orientou no desenvolvimento dessa tese.

Ao Prof. Dr. Marco Pereira, coordenador do Projeto Bambu – UNESP - Campus de Bauru por ter colaborado compartilhando informações que serviram de base para os estudos realizados nessa tese.

Ao Daniel Lucon, gerente industrial do Grupo Penha que sempre esteve à disposição em colaborar com dados e informações necessárias para a realização dessa tese.

Ao grupo João Santos e seu gerente industrial, o senhor Leocádio, que colaboraram diretamente para a qualidade dessa tese fornecendo e compartilhando informações sobre o manejo de bambu em grande escala.

A Profa. Dra. Patrícia Matai por orientar e coordenar os trabalhos realizados em laboratório, além de colaborar com a qualidade dessa tese com dicas e sugestões.

Ao Prof. Dr. Biagio Giannetti, responsável por ter plantado essa semente.

Ao Prof. Dr. Dib Karam que me aconselhou e apoiou desde a graduação.

Ao amigo e Prof. Carlos Cezar, que me indicou o caminho a ser seguido no início do doutoramento.

Ao Antonio Carlos Monteiro, técnico do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP, que esteve presente colaborando com as atividades realizadas em laboratório.

Aos amigos que fiz no Centro Nacional de Referencia em Biomassa - CENBIO, e que colaboram com trocas de experiências e aprendizado.

Ao amigo Fábio Romero pela colaboração e dicas nos momentos iniciais do doutorado.

RESUMO

GUARNETTI, Rodrigo Luiz. **Cogeração de Eletricidade Utilizando Bambu no Brasil: aspectos técnicos econômicos e ambientais**. 2013, 156f. Tese (Doutorado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

O bambu é uma gramínea lenhosa, renovável, perene e com boa produtividade de biomassa por hectare. Pode ser cultivada praticamente em todo o território brasileiro, que está quase todo localizado em regiões tropicais e chuvosas, oferecendo excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa de bambu em larga escala. O setor de papel e celulose apresenta boas perspectivas na produção de papel de fibras longas utilizando bambu, no entanto, apenas duas empresas brasileiras utilizam esse tipo de biomassa em grande escala no Brasil: O Grupo Penha queima o bambu em caldeira e utiliza o vapor no processo de reciclagem de papel e O Grupo João Santos utiliza a biomassa como matéria prima na fabricação de papel e celulose. No entanto, em ambos os casos a biomassa não é utilizada em sistema de cogeração de eletricidade, considerada uma tecnologia eficiente de conversão. O objetivo dessa tese é estudar os aspectos técnicos, econômicos e ambientais da implantação de um sistema de cogeração de eletricidade utilizando biomassa de bambu. São estudadas as características agrônomicas e as particularidades da implantação de cultivos comerciais de bambu voltado a fins energéticos. Visando determinar o Poder Calorífico (PCS) de cinco diferentes espécies consideradas adaptadas ao clima brasileiro e conhecidas como boas produtoras de biomassa por hectare, foram realizado ensaios em laboratório empregando a bomba calorimétrica, possibilitando identificar variações do poder calorífico entre as espécies estudadas. Considerando o dado referente aos processos das empresas e pesquisa em literatura, os resultados apontam que é tecnicamente possível cogear eletricidade de modo eficiente, queimando 17 toneladas de bambu por hora e gerar 3.5 MW. No entanto, o sistema não apresenta viabilidade econômica em função do modelo de atual adotado pelas empresas no manejo de seus cultivos. Em relação aos aspectos ambientais, por ser uma planta perene, capaz de produzir biomassa anualmente sem replantio, pode ser uma excelente opção para estocar carbono.

Palavras chave: Palavras chave: Bambu. Cogeração. Biomassa. Energia. Eletricidade.

ABSTRACT

GUARNETTI, Rodrigo Luiz. **Cogeneration of Electricity Using Bamboo in Brazil: Technical Aspects, Economic and Environmental**. 2013, 156f. Doctorate Thesis. Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Bamboo is a grass, woody perennial with good biomass productivity per hectare. Bamboo can be grown virtually anywhere in the Brazilian territory and almost all existing plantations are located in tropical and rainy areas, offering excellent conditions for the production and use of biomass energy in large scale. Two Brazilian companies already utilize bamboo biomass in large scale in Brazil. The Penha Group, in Bahia, burns bamboo in boilers and uses the steam in the process for recycling paper. João Santos Group uses bamboo as raw material in the manufacture of pulp and paper. However in any case there is the use of this biomass for energy cogeneration, which is the most efficient technology for energy conversion. Therefore, this thesis analyses the use of bamboo as fuel for electricity cogeneration in Brazil considering the technical aspects, as well as the corresponding economic and environmental system deployment. Also, to study the development of the productive chain of bamboo in large scale in Brazil, specifically targeted for energy purposes, this paper presents the survey of data concerning the different production systems adopted by companies, both in the cultivation and processing of biomass. Based in these results it is analyzed an efficient cogeneration system using bamboo as fuel on large scale. Obtained results show that the power to be produced in an efficient cogeneration system (60 bar, 490 °C), from 17 tones of bamboo per hour, is 3,5 MW but, with the existing bamboo production models, there is no economic feasibility, as discussed in the paper. Regarding environmental aspects, it must be noted that the bamboo is as perennial plant, able to produce biomass annually without replanting, and so appears to be an excellent carbon sink.

Keywords: Bamboo, Cogeneration, Biomass, Energy, Electricity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos Ensaios do Poder Calorífico Superior (PCS) das diferentes espécies de bambu ensaiadas em laboratório.....	38
Tabela 2 – Valores de Poder Calorífico Superior de bambu publicados.....	38
Tabela 3: Análise elementar do bambu	40
Tabela 4 – Contribuição das termelétricas movidas a biomassa no Brasil em 2013.....	43
Tabela 5: Aumento da eficiência no cultivo de eucalipto e pinus no Brasil	54
Tabela 6 - Dados referentes a plantação do Grupo João Santos.....	66
Tabela 7 – Dados atuais de produção de biomassa e vapor do Grupo Penha	70
Tabela 8: Dados técnicos da turbina	73
Tabela 9 – Equipamentos ofertados pela TGM Turbinas.....	74
Tabela 10: Receitas obtidas na venda de eletricidade excedente	77
Tabela 11 – Fluxo de caixa simulado referente ao sistema do Grupo Penha.	79
Tabela 12 – Fluxo de caixa simulado referente ao sistema do Grupo João Santos.....	80
Tabela 13 – Fluxo de caixa simulado referente à implantação de cogeração excluindo mudas e terras (João Santos).	82
Tabela 14 – Variação dos indicadores econômicos com variação do preço da energia	86
Tabela 15 - Balanço energético da cogeração de eletricidade utilizando bambu	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação de renováveis na matriz energética.....	18
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira.....	20
Figura 3 - Participação da biomassa na matriz energética brasileira.	21
Figura 4 - Concentração de espécies nativas distribuídas no mundo	23
Figura 5 - Partes do bambuzal e imagem do <i>Bambusa vulgaris</i>	23
Figura 6 - Colmos de <i>Bambusa vulgaris</i> e suas partes.....	25
Figura 7 - Diferentes tipos de rizomas.....	25
Figura 8 – Folhas ramos e novos brotos	26
Figura 9 – Moita e florescimento da espécie <i>Bambusa tulldóides</i>	27
Figura 10 – Operações realizadas no cultivo do bambu	29
Figura 11 – Produção de mudas do grupo João Santos.....	30
Figura 12 – Operações de colheita do Grupo Penha	32
Figura 13 – Sistema de colheita de bambu do Grupo João Santos	33
Figura 14 – Operações realizadas na picagem do bambu	34
Figura 15 – Sistema de picagem do bambu adotado pelo Grupo João Santos	35
Figura 16 – Preparação das amostras de biomassa de bambu	37
Figura 17 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil em 2012.	42
Figura 18 - Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão	44
Figura 19 – Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração.....	45
Figura 20 - Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa.	46
Figura 21 – Possibilidades de utilização do bambu	48
Figura 22 – Reserva nativa de bambu na tríplice fronteira.	50
Figura 23 – Monitoramento de espécies de bambu e estudo de aplicações industriais.....	52
Figura 24 – Processo de produção de papel e celulose de bambu.....	57
Figura 25 – Localização das empresas do Grupo João Santo	58
Figura 26 - Localidade dos plantios em grande escala no Brasil.....	63
Figura 27 - Evolução da temperatura e distribuição das chuvas durante o ano na cidade de Coelho Neto.....	65
Figura 28 - Itapagé – Coelho Neto	66
Figura 29 - Evolução da temperatura e distribuição das chuva durante o ano na cidade de Santo Santo Amaro	68
Figura 30 - Etapas do processo de preparação da biomassa.....	69
Figura 32 - Dimensinamento do sistema de cogeração	72
Figura 33 - Fluxo de caixa da implantação do sistema de cogeração do Grupo Penha.....	83
Figura 34 - Fluxo de caixa da implantação do sistema de cogeração do Grupo João Santos.....	84
Figura 35 - Fluxo de caixa da implantação da cogeração sem investimentos em infraestrutura (Grupo João Santos)	84
Figura 36 - Variação dos investimentos conforme o sistema de cultivo.	85

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
1.2.	Justificativa	12
1.3.	Objetivos e Metodologia.....	16
2.	POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA DE BAMBU	18
2.2.	A Biomassa na Matriz Energética Brasileira	18
2.3.	O Bambu	22
2.3.1.	Considerações gerais	22
2.3.2.	Florescimento	26
2.4.	Aspectos Gerais do Cultivo de Bambu em Grande Escala Voltado a Produção de Biomassa.....	28
2.5.	Caracterização Energética da Biomassa de Bambu	35
2.6.	Poder Calorífico do Bambu	36
2.7.	Determinação do Poder Calorífico Superior (PCS) do bambu em bomba calorimétrica	36
2.8.	Determinação do Poder Calorífico Inferior (PCI)	39
3.	REVISÃO DA LITERATURA	41
3.2.	Contexto Atual da Geração de Eletricidade a Partir de Biomassa no Brasil	41
3.3.	O Bambu no Mundo	46
3.4.	O Bambu no Brasil	50
3.5.	Papel e Celulose com Bambu	54
3.6.	Aproveitamento Energético da Biomassa de Bambu no Brasil	58
3.7.	Carvão de Bambu.....	60
3.8.	Estudo da Sustentabilidade do Cultivo do Bambu em Grande Escala no Brasil.....	61
4.	ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA DE COGERAÇÃO DE ELETRICIDADE UTILIZANDO BAMBU NO BRASIL	63
4.2.	Empresas que utilizam bambu como fonte de biomassa no Brasil.....	63
4.2.1.	O Grupo João Santos – Unidade de Coelho Neto	64
4.2.2.	Grupo Penha - Unidade de Santo Amaro	67
4.2.3.	Implantação de um Sistema de Cogeração de Eletricidade Utilizando Bambu: Estudo de Caso Considerando Dados do Grupo Penha.....	69
4.3.	Equipamentos Utilizados no Sistema de Cogeração.....	72
4.4.	Análise Econômica da Cogeração de Eletricidade a Partir de Bambu	74
4.5.	Resultados da Avaliação Econômica	78
4.6.	Balanco Energético da Utilização de Bambu em Sistema de Cogeração de Eletricidade	86
4.7.	Aspectos ambientais da cogeração de eletricidade utilizando bambu	88
5.	BARREIRAS NA UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO COMBUSTÍVEL.....	89

6.	POLÍTICAS DE INCENTIVO AO USO DO BAMBU NO BRASIL	93
7.	CONCLUSÃO.....	97
8.	BIBLIOGRAFIA	100
	Anexo A: Memorial Descritivo Referente aos Investimentos do Grupo João Santos	108
	Anexo B: Memorial Descritivo Referente aos Investimentos do Grupo Penha	111
	Anexo C: Proposta Técnica TGM Turbinas	115
1.	Resumo do Fornecimento	119
2.	Descrição dos equipamentos	120
3.	Dados Técnicos da Turbina	121
4.	Redutor de velocidades / Acoplamentos	124
5.	Sistema hidráulico	125
6.	Instrumentação.....	128
7.	Sistema de Condensação	133
8.	Limites de fornecimento	135
9.	Exclusões de fornecimento	136
10.	Documentação	138
11.	Comentários e desvios em relação ao “ADENDO TÉCNICO AUTOMAÇÃO”	140
	Anexo D: Memorial Descritivo Referente ao Estudo do Balanço Energético	151

1. INTRODUÇÃO

Atualmente 80% da energia primária utilizada no mundo são de origem fóssil (carvão, petróleo e gás). A queima destes combustíveis é a principal responsável pela emissão de dióxido de carbono (CO₂), um dos responsáveis pelo aquecimento global. Projeções indicam que o consumo de energia mundial deve crescer 40% até 2035 (IEA, 2013).

Diante desse cenário, a sociedade atravessa um importante momento no que se refere às tomadas de decisões, principalmente quando os temas abordam “energia e sustentabilidade”. O conceito de desenvolvimento sustentável, como definido no Relatório de Brundtland (1987) é baseado em sistemas capazes de “satisfazer as necessidades das gerações atuais sem comprometer as futuras, atendendo ao equilíbrio social e ecológico, bem como as necessidades dos mais pobres”. Nesse sentido, as tomadas decisões relacionadas aos sistemas de geração de energia devem considerar aspectos técnicos, ambientais, econômicos e sociais. Somente considerando tais aspectos, estaremos de fato aderindo ao conceito de sustentabilidade.

Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias de geração de energia a partir de biomassa vem ocorrendo em todo o mundo principalmente pelas vantagens ambientais apresentadas, em particular, a mitigação das emissões dos gases de efeito estufa.

O Brasil ocupa posição de destaque no setor de energia a partir de biomassa, bons exemplos podem ser citados: a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, o carvão vegetal oriundo de plantações de eucaliptos, a cogeração de eletricidade do bagaço de cana e o uso da biomassa em indústrias de papel e celulose (cascas e resíduos de árvores, serragem, licor negro etc.).

A imensa superfície do território brasileiro, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica. Essas combinações de fatores corroboram para que a biomassa seja uma das alternativas energéticas frequentemente avaliadas, considerado a extensão de áreas agricultáveis no país, as características edafoclimática de seus ecossistemas e a sua diversidade biológica.

A biomassa convertida em bicomcombustíveis tem a vantagem de ser renovável, a possibilidade de ser produzida perto do seu local de uso e a capacidade de se adaptar às condições de solo e clima de uma determinada região. Por ser uma atividade que envolve a fase agrícola, tem um importante alcance do ponto de vista socioeconômico, na medida em que pode contribuir

grandemente para a geração de emprego e melhoria das condições de vida das populações rurais (CENBIO, 2002).

De maneira geral, a biomassa assim empregada enquadra-se perfeitamente no conceito do desenvolvimento sustentável, pois permite a criação de empregos na região, dinamiza as atividades econômicas, reduz os custos relativos à distribuição e transmissão da energia, e quando utilizada de forma sustentável, não agride o meio ambiente.

Diante desse contexto, o uso de bambu como fonte de biomassa em sistemas de geração ou cogeração de energia, aparece como uma alternativa, principalmente quando se busca sistemas mais sustentáveis, afinal trata-se de uma gramínea perene que apresenta boa produtividade de biomassa por hectare, podendo ser cultivado em grandes áreas de reflorestamento sem necessidade de replantio.

Atualmente no mundo são cultivados aproximadamente 50 milhões de hectares de bambu com mais de 4.000 usos para esta planta. Possui cerca de 50 gêneros e 1250 espécies distribuídas dos trópicos às regiões temperadas, sendo a maior ocorrência em zonas quentes e com chuvas abundantes (INBAR, 2013). Similar à madeira, o bambu é um material natural, resistente, renovável e adaptado ao clima brasileiro. Sua biomassa pode ser empregada na cogeração de eletricidade, possibilitando a venda de energia excedente para a distribuidora local. No entanto, para que as potencialidades da biomassa de bambu voltada a fins energéticos sejam devidamente aproveitadas, é preciso que os planejadores do setor energético reconheçam a sua importância como vetor de desenvolvimento regional e sustentável, fato que essa tese pretende explorar.

Visando colaborar com o desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu em grande escala no Brasil, especificamente voltados a fins energéticos, essa tese tem o objetivo de estudar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da utilização da biomassa de bambu como fonte de energia no Brasil, e para que esse objetivo seja alcançado, os capítulos foram estruturados da seguinte forma:

No capítulo 1, são apresentadas as justificativas que estimularam as pesquisas envolvendo o tema bambu e cogeração de eletricidade. Também nesse capítulo são descritos os objetivos e a metodologia empregada.

No capítulo 2, é realizado o estudo do potencial energético da biomassa de bambu, sendo o valor do poder calorífico encontrado por meio de ensaios em laboratório. Em se tratando de uma biomassa ainda não consolidada para fins energéticos no Brasil, existe a necessidade de se realizar uma avaliação mais abrangente considerando aspectos agrônômicos e particularidades da planta relacionadas ao cultivo em grande escala.

No capítulo 3, é apresentada a revisão da literatura.

No capítulo 4, é realizado estudo de viabilidade técnica e econômica referente a implantação de um sistema de cogeração de eletricidade que utiliza bambu como fonte de biomassa. Para tanto, além de dados retirados da literatura, foram realizadas visitas técnicas nas duas empresas brasileiras que cultivam essa planta em grande escala, o Grupo Penha e João Santos, onde foram coletadas informações referentes ao manejo e utilização dessa biomassa em escala comercial. Nesse sentido também será realizado o balanço energético da atividade com base nos insumos empregado nas fases de cultivo e transporte das empresas.

O capítulo 5 descreve as principais barreiras enfrentadas atualmente na cadeia produtiva do bambu em larga escala no Brasil.

No capítulo 6 são apresentadas as políticas de incentivo e perspectivas sobre a utilização do bambu em larga escala no Brasil.

No capítulo 7: Conclusões da tese.

1.2. Justificativa

As causas da crise de eletricidade que enfrentamos atualmente têm sido amplamente discutidas na imprensa e por especialistas do setor. O problema parece estar bem compreendido: a expansão do sistema hidroelétrico brasileiro – fonte principal de eletricidade no Brasil – tem sido feita nas últimas décadas em usinas a “fio d’água”, isto é, sem reservatórios que mantenham as usinas em funcionamento quando não chove durante longos períodos. Como os reservatórios das hidroelétricas estão praticamente no mesmo nível que em 2001, certamente teríamos um racionamento de energia se não tivessem sido instaladas usinas termoeletricas que usam biomassa, gás, óleo combustível e até carvão. A energia gerada por essas usinas é muito mais cara se comparada à geração hidrelétrica. Atualmente, nota-se que o risco de racionamento não foi afastado porque muitas das termoeletricas disponíveis já foram acionadas e, se a seca continuar, faltará energia (GOLDEMBERG, 2013).

Os dados divulgados no último Balanço Energético Nacional (BEN, 2013) apresentaram aumento de 5% na demanda de eletricidade, devido ao aumento de renda da população e facilidades de crédito em 2012, evidenciando que o planejamento do setor energético acena com termoeletricas a combustíveis fósseis, até mesmo carvão mineral, e a biomassa nem sequer é considerada como uma opção, fato comprovado pelo aumento de 5% registrado no consumo de gás natural utilizados pelas térmicas no último balanço.

De fato, no momento atual as térmicas vêm conseguindo se multiplicar, ocupando papel importante e necessário. Com o aumento do consumo de energia elétrica, o volume de água dos reservatórios das hidrelétricas é cada vez menor, determinando a necessidade de uso da geração térmica, como está acontecendo agora. Mantendo o quadro atual é possível que cada vez mais as termelétricas sejam inseridas na matriz brasileira.

Diante desse cenário, para os próximos anos, nota-se que a intenção do governo é diversificar a matriz brasileira estimulando o uso de fontes alternativas de energia consideradas mais limpas, com o caso da eólica que praticamente dobrou sua participação na produção de eletricidade em 2012.

Atualmente os resultados de políticas de incentivo ao uso de energia alternativa e mais limpas podem ser comprovados quando se analisa a participação da eletricidade produzida pelo setor de cana-de-açúcar que é significativa (82%), resultado da política de incentivo promovida pelo Governo brasileiro na década de 70. O Proálcool - Programa Nacional do Alcool foi criado como uma alternativa para reduzir a dependência do País do petróleo, que representava na época, importações em patamares superiores a 80% das necessidades nacionais. Além do emprego do etanol, no setor de transporte, substituindo a gasolina em veículos leves, o bagaço da cana-de-açúcar é utilizado na produção de calor e eletricidade em sistemas de cogeração possibilitando ao gerador vender excedentes ao sistema elétrico em condições competitivas de mercado.

Atualmente existem 474 termelétricas movidas à biomassa em operação no Brasil, a maioria movida a bagaço de cana (252). No setor de papel e celulose, existem 16 usinas, gerando aproximadamente 1,5 GW de eletricidade, sendo em sua maioria utilizada como fonte de biomassa o eucalipto e o pinus.

No início da década de 80 acentuou-se o interesse das indústrias por novas tecnologias para fins energéticos, em consequência da elevação dos preços internos do óleo combustível e do gás natural, favorecendo o maior uso da lenha e do carvão vegetal. Neste cenário, descobriu-se na biomassa um grande potencial energético para movimentar a indústria, transporte, comércio e demais setores econômicos do Brasil. Em decorrência desse fato, a pressão que as florestas nativas vêm sofrendo nos últimos anos faz com que as tomadas de decisões cada vez mais considerem o conceito de sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

Quando produzida de forma eficiente e sustentável, a energia da biomassa traz inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais quando comparados aos combustíveis fósseis. Esses benefícios incluem o melhor manejo da terra, geração de empregos em áreas agrícolas nos países industrializados, fornecimento de vetores energéticos modernos a comunidades

rurais nos países em desenvolvimento, redução dos níveis de emissões de CO₂, controle de resíduos, reciclagem de nutrientes, entre outros.

Portanto, a geração de eletricidade a partir de qualquer biomassa deve considerar aspectos relacionados à sustentabilidade do processo, afinal, antes da queima do combustível em caldeira, existirá uma fase de cultivo, que pode demandar grande quantidade de energia, podendo inviabilizar o processo se o balanço energético for negativo.

O uso de bambu como fonte de biomassa em sistemas de geração ou cogeração de eletricidade, apresenta características positivas que merecem ser avaliadas. Sua biomassa pode ser utilizada pela usina na cogeração de energia (elétrica e térmica) e ainda contribuir para a diminuição da concentração de CO₂ na atmosfera.

Em regiões isoladas onde linhas de transmissão não podem ser instaladas por motivos técnicos e/ou econômicos a alternativa mais comum é a geração a óleo diesel, porém, muitas vezes essas comunidades não dispõem de recursos para comprar o próprio combustível, devido ao alto custo do transporte, fazendo com que o combustível dobre de preço em algumas situações. Nesse caso, o estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental da utilização de biomassa de bambu como fonte de energia térmica em processos industriais ou na geração de eletricidade, pode contribuir tanto para o desenvolvimento tecnológico, como para a academia de uma forma geral, pois na literatura não existem estudos relevantes sobre o tema.

Vale ressaltar que ao substituir bambu por árvores, mesmo que esta seja de reflorestamento, estaremos diminuindo a pressão nas florestas nativas, o que consequentemente contribui para a diminuição do desmatamento.

As vantagens de se utilizar biomassa de bambu com fonte de energia é que estamos falando de uma planta perene, que não necessita de replantio. Esse fato é positivo tanto no aspecto econômico, pois economizam investimentos em insumos e mão de obra no replantio dos novos cultivos, e também o aspecto ambiental, que pelo fato de o bambu não precisar ser replantado, o solo não sofre processos de erosão considerados prejudiciais (economicamente e ambientalmente) no manejo principalmente cultivos em larga escala.

O aproveitamento energético da biomassa de bambu já realidade no Brasil, O Grupo Penha, unidade industrial de Santo Amaro, estado da Bahia, explora aproximadamente 3 mil hectares de biomassa de bambu voltado a fins energéticos, sendo a biomassa queimada em caldeira visando aproveitar o vapor utilizado no processo de reciclagem de papel, no entanto ainda não existe no País um sistema de cogeração de eletricidade com bambu, portanto, essa tese deve contribuir com dados e informações referentes à parte agrícola e o processo de transformação

da biomassa em energia elétrica, além de dimensionar os equipamentos utilizados no processo industrial.

As principais barreiras existentes para a maior utilização das energias renováveis são de ordem econômica, pois as tecnologias empregadas são relativamente novas, ainda em desenvolvimento, apresentando custo de implantação muito alto (GOLDEMBERG, 2005). Esse parece ser o caso do uso do bambu para fins energéticos, pois nenhum trabalho científico abordou barreiras existentes na implantação desse sistema.

Em especial a produção de biomassa é uma atividade que envolve muitos empregos, porem com mão de obra barata, (GOLDEMBERG, 2003). O maior produtor mundial de bambu é a China, com aproximadamente sete milhões de hectares. Os chineses utilizam o bambu em aplicações industriais, com destaque para a produção papel e celulose. O rápido crescimento do consumo de papel e papel cartão na China tem causado escassez de matérias primas e, com isso, grande proporção das fibras necessárias é atualmente importada. A fim de reduzir a dependência na importação desses produtos, a indústria papelreira da China defronta se com o desafio de aumentar o foco sobre fibras de não madeira, principalmente as de bambu (GUO, 2013).

A celulose de bambu possui inúmeras vantagens, destacando se pela produção de papel cartão e embalagens, sendo mais usados em segmentos como cimento, cal, argamassa e gesso.

O bambu produz celulose de fibra longa, diferentemente do eucalipto, que é composto por fibras curtas. As fibras do bambu são longas como as do pinheiro e estreitas como as do eucalipto, onde seu entrelaçamento confere aos produtos, características físicas jamais obtidas pelas tradicionais matérias primas utilizadas para esse fim (MATOS JUNIOR, 2004).

O papel de bambu tem a mesma qualidade que qualquer outro, e suas fibras são muito resistentes, com qualidade igual ou superior à fibra da madeira comum (VICTORINO, 2006). No Brasil, em termos industriais, a espécie *Bambusa vulgaris* é a mais utilizada para a fabricação de celulose. O Grupo João Santos cultiva aproximadamente 30 mil hectares voltados à produção de papel e celulose no Nordeste brasileiro.

Segundo Beraldo et al. (2003) do ponto de vista de utilização do bambu como planta celulósica, a situação atual no Brasil, é parecida com o eucalipto nos anos 40 e 50 que por falta de informações científicas, permanecia como uma espécie pouco valorizada, principalmente para a produção de celulose e papel. Atualmente o país é um dos maiores exportadores de celulose de fibra curta, justamente obtida com o eucalipto.

O Brasil, como maior país tropical do mundo, tem potencial para, a exemplo da China, estabelecer com sucesso uma cadeia virtuosa de desenvolvimento econômico, social e

ambiental, tendo como base o bambu, mais especificamente utilizando essa biomassa, principalmente na cadeia de papel e celulose. Com base nesse contexto, essa tese pretende colaborar para a difusão dos resultados benéficos e sustentáveis da cadeia produtiva do bambu no Brasil, onde não apenas o uso da matéria prima é fundamental para seu desenvolvimento, mas também fornecer dados que corroboram com o processo de consolidação que o bambu vem atravessando no Brasil, mais precisamente na área da inovação e capacitação tecnológica, a exemplo do que fazem muitos países, como a Alemanha, Chile, Japão, China e a Índia (OSTAPIV e FAGUNDES, 2007).

1.3. Objetivos e Metodologia

Essa tese pretende contribuir para a construção de uma política nacional de desenvolvimento da cultura do bambu no Brasil, criando oportunidades de estudos e pesquisas que poderão viabilizar a utilização dessa planta como fonte de energia.

O estudo de um sistema de geração de eletricidade a partir da biomassa de bambu, algo que ainda não existe no Brasil, deve contribuir não só com dados e informações referentes à parte agrícola, mas também dimensionar um sistema hipotético que utiliza biomassa de bambu a fim de obter dados capazes de fornecer informações sobre o rendimento e particularidades do sistema.

Visando estudar os aspectos técnicos, econômicos e ambientais da implantação de um sistema de cogeração de eletricidade com bambu, inicialmente foi realizada a revisão da literatura visando contextualizar o cenário atual de pesquisas e publicações acadêmicas que se relacionam com os aspectos discutidos nessa tese.

Os dados de literatura foram obtidos consultando publicações de artigos, teses e dissertações em revistas científicas nacionais e internacionais específicas da área de energia e biomassa.

As informações de campo, referentes aos insumos empregados no cultivo, espaçamento entre as moitas, maquinários, etc, foram coletadas em plantios comerciais de bambu nas empresas: Grupo Penha e Grupo João Santos (detalhes no capítulo 3.5).

Foram estudadas as características agrônômicas dessa biomassa e realizado ensaios em laboratório visando determinar o Poder Calorífico (PCS) de cinco diferentes espécies consideradas adaptadas ao clima brasileiro e conhecidas como boas produtoras de biomassa por hectare. As amostras foram coletadas no Projeto Bambu - área experimental da UNESP – Campus Bauru (detalhes capítulo 3.3). Com os valores de PCS, propriedades químicas e

umidade das amostras possibilitou determinar o valor do Poder Calorífico Inferior (PCI) usado no dimensionamento dos componentes do sistema de cogeração estudados no capítulo 4, bem como dimensionar a área de cultivo necessária para atender a demanda do processo.

O estudo das características químicas e energéticas de um combustível ainda em processo de consolidação, como é o caso do bambu, é de extrema importância quando se pretende dimensionar sistemas de geração de energia com biomassa. Como já publicado por Moreira, (2012), a queima de bambu em caldeiras gera uma quantidade de cinzas sete vezes maior que o eucalipto, fator que pode gerar problemas relacionados à eficiência da queima na operação do sistema se essa variável não for considerada inicialmente.

Com o objetivo de relacionar o preço dos equipamentos utilizados no sistema de cogeração proposto, foram solicitadas a empresas do setor, propostas técnicas de acordo com dimensionamento e configuração do sistema proposto.

Com o sistema hipotético dimensionado foi possível realizar as análises técnicas, econômicas e ambientais.

Com os dados coletados nessa a tese, foi possível apresentar e discutir as barreiras, incentivos, geração de empregos e perspectivas à utilização de biomassa de bambu em sistemas de geração de energia no Brasil.

2. POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA DE BAMBU

2.2. A Biomassa na Matriz Energética Brasileira

Dados do Balanço Energético Nacional – BEN 2013 indica que em 2012, a oferta interna de energia (total de energia demandada no País) aumentou 11,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), com uma taxa de crescimento de 4,1% em 2001 e atingindo 283,6 Mtep. Em 2012, a participação de renováveis na matriz energética brasileira manteve se entre as mais elevadas do mundo, com pequena redução devido à menor oferta de energia hidráulica e de etanol (figura 1).

Figura 1 - Participação de renováveis na matriz energética

Fonte: Balanço Energético Nacional - 2013

Historicamente, o aumento da participação da biomassa na matriz energética brasileira, foi incentivado pelo governo por meio dos programas Proálcool, Proínfa e Pró-biodiesel, que estimularam o uso da biomassa como combustível a fim de diminuir a dependência de combustíveis fósseis na matriz brasileira. Pode se ainda citar como fatores incentivadores as

previsões na época de déficits em função do elevado consumo e a própria desregulamentação do setor, que permitiu o uso da biomassa em termoeletricas e a venda do excedente de energia produzida em processos de cogeração em plantas industriais. Diante de todo esse contexto, a biomassa passou de “resíduos”, com baixo valor de mercado, para um patamar de combustível energético economicamente viável e ecologicamente correto.

O setor sucroalcooleiro foi o pioneiro na aplicação de recursos para o aproveitamento da biomassa através do uso do bagaço de cana na cogeração de energia, em um primeiro momento para autoconsumo e, posteriormente, para a venda de excedentes ao mercado, que propiciou não apenas a redução no consumo de energia, como também a minimização dos custos de retirada, deste insumo dos campos e a própria diversificação do empreendimento ao incorporar uma nova renda ao negócio.

Atualmente a geração de energia utilizando biomassa no Brasil corresponde a 6,8% (figura 2), indicando o menor crescimento em termos de participação na geração, entre os grupos das renováveis (0,2%) se comparado a 2011, diferentemente do ocorreu com a energia eólica, apresentando aumento de 0,4%, possivelmente resultado dos diversos incentivos destinados a esse setor, que colaboram para o aumento da participação das renováveis na matriz brasileira. Os resultados para o setor devem apresentar resultados ainda mais positivos nos próximos anos, pois recentemente o Ministério de Minas e Energia alterou a Portaria 300 que trata do leilão de compra de energia proveniente de novos empreendimentos de geração denominado A-5, incluindo a possibilidade de negociação dos Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) para empreendimentos de geração a partir de fonte eólica e solar.

Figura 2 - Matriz elétrica brasileira

Fonte: Adaptado do Balanço Energético Nacional (BEN, 2013).

De acordo com Goldemberg e Coelho (2013), o planejamento para o setor elétrico acena com termoelétricas a combustíveis fósseis, até mesmo carvão mineral, e a biomassa nem sequer é considerada como uma opção. A bioenergia deve competir com a energia eólica e com carvão mineral (apresentado como utilizando tecnologias “inovadoras” e “limpas”).

Por outro lado, uma característica particular do Brasil é o desenvolvimento industrial em grande escala e a aplicação das tecnologias de energia com biomassa. Bons exemplos são: a produção do etanol a partir da cana de açúcar, o carvão vegetal oriundo de plantações de eucalyptos, a cogeração de eletricidade do barço de cana e o uso da biomassa em indústrias de papel e celulose (cascas e resíduos de árvores, serragem, licor negro etc.). A utilização de biomassa no Brasil é resultado de uma combinação de fatores, incluindo a disponibilidade de recursos e mão de obra barata, rápida industrialização e urbanização e a experiência histórica com aplicações industriais dessa fonte de energia em grande escala. A figura 3 apresenta a participação da biomassa na matriz energética brasileira (ano base 2012).

Figura 3 - Participação da biomassa na matriz energética brasileira.

Fonte: Adaptado do Balanço Energético Nacional (BEN, 2013).

O aumento do consumo final de eletricidade (3,8%) se deve principalmente pelo aumento no consumo dos setores residencial e de serviços. O aumento da geração térmica convencional, especialmente das usinas movidas a gás natural, cuja participação na matriz cresceu de 4,4% para 8%. Como decorrência houve aumento das perdas na transformação (o rendimento da planta térmica na conversão para eletricidade é bastante inferior ao da usina hidrelétrica), mas por outro lado, apesar do aumento da geração térmica, o setor elétrico brasileiro emitiu, em média, apenas 82 kg de CO₂ para produzir 1 MWh. É um índice ainda muito baixo quando se estabelecem comparações internacionais. Por exemplo, os setores elétricos americano e chinês emitem, respectivamente, 7 e 11 vezes mais (Moreira, 2012).

No Brasil, a biomassa constitui uma das alternativas energéticas frequentemente avaliadas, considerado a extensão de áreas agricultáveis no país, as características edafoclimáticas de seus ecossistemas e a sua diversidade biológica. A biomassa convertida em biocombustíveis tem a vantagem de ser renovável, a possibilidade de ser produzida perto do seu local de uso e a capacidade de se adaptar às condições de solo e clima de uma determinada região. E por ser

uma atividade que envolve a fase agrícola ou silvicultural, tem um importante alcance do ponto de vista socioeconômico, na medida em que pode contribuir grandemente para a geração de emprego. Nesse cenário, a utilização de biomassa de bambu se apresenta como opção para a geração de energia, pois é uma planta perene, portanto não necessita de replantio, produz em média 25 t/ha ano (AZZINI, 1987) de biomassa, o poder calorífico apresenta valores aproximados se comparado ao eucalipto, que atualmente é a biomassa mais utilizada no setor de papel e celulose no Brasil em função de excelentes características agronômicas e adaptação no clima brasileiro.

2.3. O Bambu

2.3.1. Considerações gerais

O bambu é considerado uma gramínea lenhosa. São conhecidas cerca de 1250 espécies, com diferentes características, desde plantas de um metro de altura, até espécies gigantes que atingem 35 metros (PEREIRA, 2001).

Essa planta é utilizada nas mais diversas aplicações, podendo ser consumido como alimento na forma de brotos, utilizado na construção civil na forma de estruturas, laminado colada, tubos de irrigação e mais recentemente em sistemas de geração de vapor, onde a biomassa de bambu é queimada em caldeiras visando obter vapor para atender a demanda de processos industriais.

O Brasil é o país com maior diversidade em espécies de bambu nas Américas, com 34 gêneros e 232 espécies, das quais 75% (174 espécies) são consideradas endêmicas (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004). Já os bambus nativos brotam em todos os continentes, sendo que a maioria das espécies se desenvolve em temperaturas que variam de 8° C a 36° C, distribuindo se naturalmente por todos os continentes, exceto a Europa. A maior parte das espécies nativas está concentrada na Ásia (62%), seguida das Américas (34%), África (4%) e Oceania (4%) sendo encontrados em latitudes 45°norte e 47° sul (figura 4).

Figura 4 - Concentração de espécies nativas distribuídas no mundo

Fonte: Adaptado de Lopez (2003)

Embora seja uma gramínea, os bambus apresentam hábito arborescente, apresentando parte subterrânea com rizoma e raiz e a parte aérea, constituída por colmo, folhas e ramificações, onde, segundo Liese (1985), 50% a 70% da biomassa da planta se concentram na região colmos, 15% a 20% compõe raízes rizomas e de 15% a 20% são folhas e ramos. A figura 5 apresenta as partes do bambuzal e uma moita de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, adaptada no Brasil em termos de clima e produção de biomassa.

Figura 5 - Partes do bambuzal e imagem do *Bambusa vulgaris*

Fonte: Adaptado de Bambu SC (<http://bambusc.org.br>)

Manejado corretamente, uma plantação produz em torno de 25 toneladas por hectare de biomassa (com de 30% de umidade) anualmente. Chama a atenção pelo fato de ser perene, não necessitando de replantio, uma vez estabelecida a plantação, a exploração pode durar por tempo indeterminado.

O grupo João Santos (maiores detalhes no capítulo 4) que explora a maior plantação comercial do mundo, com 40 mil hectares de bambu da espécie *Bambusa vulgaris* voltado à produção de biomassa, implantou seu cultivo há décadas, e ainda não foi necessário realizar replantio. Situação semelhante ocorre com Grupo Penha, que explora 3 mil hectares de bambu também da espécie *Bambusa vulgaris* voltado a fins energéticos, sendo a biomassa utilizada na forma de cavacos queimados em caldeira visando obter vapor que será utilizado no processo de reciclagem de papel.

O bambu não é uma árvore, mas ele também forma maciços florestais, chamados de bambuzais, que se renovam pela brotação de novos colmos a partir dos rizomas subterrâneos. A brotação ocorre uma vez por ano, sempre na mesma época. Em cada moita chegam a nascer dez novos colmos por ano, desde que encontrem espaço, luz e nutrientes suficientes. Os colmos do bambu não têm casca e são geralmente ocos, sendo constituídos por tecido lenhoso em formato cilíndrico segmentado, formando nós e entrenós. Na parte superior dos colmos forma-se a copa, composta por ramos laterais, que sustentam a folhagem. Ao contrário das árvores, os colmos já nascem praticamente com o seu diâmetro definitivo, isto é, não engrossam com o tempo.

Seus colmos são cilíndricos, ocos e separados transversalmente por entrenós, denominados de diafragmas, que externamente é representado pelos nós de onde nascem os ramos e folhas. Diferente da madeira, o caule do bambu, cresce apenas horizontal e permanece com o mesmo diâmetro por toda a sua vida. Os colmos apresentam em média comprimentos de 20 a 35 cm entre um nó e outro. A figura 6 mostra a imagem dos colmos da espécie *Bambusa vulgaris* suas respectivas partes:

Figura 6 - Colmos de *Bambusa vulgaris* e suas partes

Fonte: Adaptado de Lopez (2003)

O rizoma não deve ser confundido com a raiz, pois apresenta funções específicas diferentes. Basicamente o rizoma é um caule subterrâneo dotado de nós e entrenós com folhas reduzidas a escamas e que se desenvolve paralelamente a superfície do solo (figura 7). Sua principal função é armazenar e transportar nutrientes que serão utilizados pela planta no momento da reprodução assexuada, que consiste em introduzir a planta mãe no solo para que aconteça a reprodução. A cada ano novos colmos emergem dos rizomas e vão se multiplicando indefinidamente.

Quanto ao tipo de rizoma, existem dois grupos distintos de bambus, os que formam touceiras (*simpodial*) e os alastrantes (*monopodial*). Muitos autores propõem o semi entouceirante (*anfipodial*) como um terceiro tipo que dispõe de ambas as características anteriores (figura 7).

Figura 7 - Diferentes tipos de rizomas

Fonte: adaptado de Bambu SC (www.bambusc.org.br)

O rápido crescimento dessa planta, como muitas vezes mencionado na literatura pode estar relacionado à eficiência em que ela realiza a fotossíntese. Suas folhas, responsável por esse processo se apresentam na forma de lâminas de folhas caulinares que crescem em galhos, onde estão conectadas à bainha por uma projeção de sua veia principal, em forma de haste. Quando a folha seca, começando pela ponta, esta haste quebra, e a bainha permanece conectada por mais tempo ao nó do colmo. Uma folha de bambu sobrevive até cerca de dois anos. Como pode ser vista na figura 8, existe grande quantidade de folhas depositadas constantemente no solo demonstrando que esta planta possui uma notável capacidade de reposição foliar, apresentando a vantagem de estocar material orgânico no solo (folhas galhos e bainhas), contribuindo para eliminação de plantas invasoras durante seu manejo e consequentemente custos menores.

Figura 8 – Folhas ramos e novos brotos

Fonte: Fotos do autor durante a visita no Grupo João Santos

2.3.2. Florescimento

De acordo com pesquisa bibliográfica e entrevistas com especialistas do setor, em muitas espécies de bambus o florescimento ou floração é um fenômeno raro, ainda um mistério para os botânicos. Pode acontecer espontaneamente, mas em espécies mais difundidas, como é o caso do *Bambusa vulgaris*, os intervalos estão estimados em pelo menos 100 anos. Várias espécies de bambus morrem ao florescer devido à energia desprendida pela planta para a formação de um grande número de sementes. (FILGUEIRAS, 1998).

De maneira geral os bambus apresentam três tipos de florescimentos:

Esporádica - ocorre apenas em algumas plantas de uma população sendo que ao florescer a planta ou parte dela morre.

Sincrônica - ocorre simultaneamente em todas as plantas de uma população. Neste caso toda a população poderá morrer. Esta é uma variável importante na escolha da espécie quando se pretende implantar uma floresta de bambu com finalidade comercial. Se todas as plantas florescerem simultaneamente poderá haver um grande intervalo na oferta de matéria prima. As causas deste tipo de floração continuam sendo um enigma para os botânicos, existindo muitas teorias carentes de comprovação.

Floração de “stress” – ocorre quando a planta é submetida a uma agressão ou uma forte adversidade ambiental. Neste caso pode ocorrer o florescimento em apenas uma parte da planta.

A ocorrência simultânea de florações de uma mesma espécie em diferentes locais do mundo é um evento ainda estudado. Certamente as plantas de um mesmo clone, ou seja, que foram reproduzidas através da mesma planta pode florescer simultaneamente em locais diferentes.

A figura 9 apresenta o florescimento de uma moita de bambu.

Figura 9 – Moita e florescimento da espécie *Bambusa tuldoidea*

Fonte: bambubrasileiro.com

2.4. Aspectos Gerais do Cultivo de Bambu em Grande Escala Voltado a Produção de Biomassa

Em função da enorme diversidade de espécies existente de bambu, não é possível estabelecer uma metodologia padrão para a implantação de um cultivo comercial voltado a produção de biomassa. As operações realizadas devem considerar fatores como espécie cultivada, micro clima, declividade do terreno, tipo de solo, entre outras.

Atualmente no Brasil existem duas empresas que exploram biomassa de bambu em grande escala. Uma delas é o Grupo João Santos, que cultiva mais de 16 mil hectares na cidade de Coelho Neto no Estado do Maranhão. A outra é o Grupo Penha, que atualmente explora uma área de três mil hectares em Santo Amaro no Estado da Bahia.

No sentido de levantar informações sobre o cultivo do bambu em larga escala no País, foram realizadas visitas técnicas em ambas as empresas com o objetivo estudar as principais atividades desenvolvidas nessa etapa.

Considerando o escopo desse estudo (figura 10), o cultivo do bambu em grande escala pode ser dividido em duas fases:

Implantação - Corresponde aos três primeiros anos da plantação. Nesta fase, processos como adubação, calagem, capina, rolagem (do mato) são realizadas com maior frequência.

Operação - Nesta fase a manutenção na plantação é feita somente a cada corte raso da moita que acontece em ciclo médio de três anos quando o manejo é voltado à produção de biomassa.

Figura 10 – Operações realizadas no cultivo do bambu

A implantação de um cultivo comercial de bambu se inicia com a realização das seguintes operações:

Preparo do solo

O local a ser implantado o cultivo de bambu em grande escala deve estar em condições de receber as mudas, as operações realizadas nessa fase varia de acordo com as condições de relevo. Se a área for plana, toda a vegetação pode ser retirada antes do plantio, caso tenha declividade acentuada, a muda poderá ser plantada retirando a vegetação ao redor da muda a fim de evitar o sombreamento causado por outras plantas.

Nesse momento a análise das propriedades do solo deve ser executada a fim de monitorar as condições de nutrientes presentes. Esse estudo é extrema importância, pois, tem influência na boa produtividade da plantação.

Mudas

Atualmente a obtenção de mudas de bambu para extensos plantios ainda é um problema.

Em um hectare de bambu, dependendo do espaçamento adotado são utilizadas aproximadamente 480 mudas/ha. Número relativamente alto quando considerado o método de propagação vegetativa, que utiliza ramos da própria planta para gerar novas moitas.

A figura 11 mostra uma muda de bambu pronta para o plantio e o sistema de produção de mudas de bambu do Grupo João Santos.

Figura 11 – Produção de mudas do grupo João Santos

Fonte: Fotos do autor durante visita no Grupo João Santos

Plantio

Atualmente a operação de plantio consiste em abrir covas de aproximadamente 40 cm de profundidade e largura de acordo com as dimensões da muda. O espaçamento entre as mudas será determinado de acordo com o manejo.

Colheita

Como nesse trabalho objetivo é estudar o cultivo do bambu voltado à produção de biomassa para fins energéticos, cabe analisar o sistema de colheita adotado pelas duas empresas e suas particularidades. Ambas utilizam biomassa de bambu na forma de cavaco, dessa forma cada uma desenvolveu seu próprio sistema de exploração.

Sistema de colheita do Grupo Penha

Quando empresa iniciou a exploração de três mil hectares de bambu no segundo semestre de 2005, a plantação já se encontrava na fase adulta, pois essa área fora comprada de outra empresa que há 30 anos investira em reflorestamento com bambu. O sistema de colheita é realizado com o corte raso da moita manualmente e somente os colmos serão aproveitados na forma de cavaco.

Depois do corte raso realizado, os galhos e folhas permanecem na plantação. Os colmos depois seguem para pátio de picagem e estocagem localizada nas proximidades da empresa. A figura 12 apresenta as operações executadas na fase de colheita.

Fonte: Fotos do autor durante a visita no Grupo Penha (2011)

Figura 12 – Operações de colheita do Grupo Penha

Sistema de colheita do Grupo João Santos

O sistema de colheita adotado pelo Grupo João Santos é parcialmente mecanizado. Depois de cortados manualmente o bambu é amontoado na plantação, onde depois será transformado em cavaco em picadores móveis na própria plantação (figura 13).

Figura 13 – Sistema de colheita de bambu do Grupo João Santos

Fonte: Fotos do autor durante a visita no Grupo João Santos.

Transformação do Bambu em Cavaco

Grupo Penha

A transformação da biomassa em cavaco é particular de cada empresa. No caso da Penha os colmos são picados em uma central localizada nas proximidades da indústria. O cavado de bambu permanece por aproximadamente 20 dias na central de picagem com o objetivo de perder umidade. A próxima fase é transportar a biomassa para abastecer a caldeira da indústria.

Figura 14 – Operações realizadas na picagem do bambu

Fonte: Fotos do autor durante visita realizada no Grupo Penha

Grupo João Santos

Os cavacos produzidos pelo grupo João Santos serão destinados à fabricação de papel de fibra longa em umas das empresas do grupo, distante a aproximadamente 1000 km. O cavaco é picado na plantação (figura 15).

Figura 15 – Sistema de picagem do bambu adotado pelo Grupo João Santos

Fonte: Fotos do autor durante visita realizada ao Grupo João Santos

2.5. Caracterização Energética da Biomassa de Bambu

Quando se pretende estudar o potencial energético de combustíveis, seja ele de origem fóssil ou biomassa, é essencial conhecer suas características térmicas e químicas. Tais informações possibilitam avaliar o comportamento do combustível durante o processo de combustão, fornecendo parâmetros que podem ser empregados em tomadas de decisões ou até mesmo promover melhorias em sistemas térmicos visando ganhos em eficiência nos processos.

O rendimento energético de um combustível, especificamente biomassa, tem relação direta com sua composição química, pois os teores de celulose, holocelulose, lignina, extrativos e substâncias minerais variam com a espécie utilizada.

Na literatura é possível encontrar uma extensa base de dados referentes a estudos de viabilidade de implantação de sistemas de geração de energia que utilizam biomassa como combustível. Na maioria dos trabalhos, os autores consideraram o poder calorífico, e a composição química (elementar e imediata) como indicadores capazes de fornecer informações referentes ao rendimento do processo térmico (CARDOSO, 2013).

2.6. Poder Calorífico do Bambu

O Poder calorífico de um combustível é a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa de uma unidade de massa. Normalmente é medido em kcal/kg ou kJ/kg. Pode ser dividido em Superior e Inferior.

No conceito de Poder Calorífico Superior (PCS) a combustão acontece a volume constante, onde água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado. Esse valor é encontrado por meio de ensaios em laboratório utilizando um equipamento chamado bomba calorimétricos, o resultado obtido nessa análise pode ser utilizado na comparação com outros combustíveis.

O Poder Calorífico Inferior (PCI) é a energia efetivamente disponível por unidade de massa do combustível deduzida perdas energéticas na evaporação da água. Esse indicador é um dos mais importantes quando se analisa a viabilidade técnica e econômica de sistemas térmicos de geração de energia.

Especificamente nesse estudo, o valor do PCI tem importância significativa, pois com base nesse indicador foi possível dimensionar desde a caldeira até o estoque de biomassa necessária (área plantada).

2.7. Determinação do Poder Calorífico Superior (PCS) do bambu em bomba calorimétrica

Com o objetivo de determinar o valor do poder calorífico superior de diferentes espécies de bambu, foram realizadas experiências nas dependências do Laboratório de Química da Universidade de São Paulo - USP¹. As normas utilizadas nos ensaios foram a ASTM (American Society for Testing Materials) número D 407-44, D 271-58 e D 240-57 T, sugerida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A avaliação do PCS foi realizada para cinco espécies de bambu já adaptados ao clima brasileiro e apresentando boa produtividade agrícola. São elas: *Bambusa vulgaris*, *Dendrocalamus giganteus*, *tulda* e *Bambusa oldami*.

Os colmos foram coletados em julho de 2011 na Área Experimental Agrícola do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP – Campus de Bauru², onde está localizado

¹Os experimentos foram realizados sob orientação da Profa. Patrícia H. L. S. Matai.

²Coordenado pelo Prof. Dr. Marco Antônio dos Reis Pereira

o Projeto Bambu, há 15 anos a plantação produz colmos com dimensões adequadas para o processamento, possibilitando o desenvolvimento de pesquisas focadas nos diferentes usos do bambu como matéria prima.

As amostras foram colhidas com idades entre dois e três anos, obedecendo ao ciclo de corte empregado pelo Grupo Penha e Grupo João Santos que atualmente exploraram extensas plantações da espécie *Bambusa vulgaris* no Brasil.

A figura 16 mostra como foram preparadas as amostras para a realização dos ensaios.

Figura 16 – Preparação das amostras de biomassa de bambu

Fonte: Adaptado de: Projeto Bambu (<http://wwwp.feb.unesp.br>)

Visando estudar a variação do PCS ao longo do colmo, as amostras foram cortadas como na figura 16, dividindo o colmo em três regiões, (base, ponto médio e ponta) de maneira que as análises se concentrassem nesses pontos.

As amostras foram expostas ao sol por 20 dias visando reduzir a umidade da biomassa, assim como realizado nas empresas Penha e Grupo João Santos, onde depois de colhidos, os colmos são deixados na plantação por 20 dias visando baixar a umidade da biomassa para níveis próximos de 30% (de acordo com informações das empresas).

Tabela 1 - Resultados dos Ensaios do Poder Calorífico Superior (PCS) das diferentes espécies de bambu ensaiadas em laboratório

Espécie	Poder Calorífico Superior kcal/kg				
	Idade (anos)	Base	Ponto Médio	Topo	Valor Médio
<i>Bambusa vulgaris</i>	2	3967	4120	4115	4067
<i>Bambusa vulgaris</i>	3	3698	4103	4264	4022
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	3	3431	3855	3931	3739
<i>Bambusa tulda</i>	3	4017	4204	4270	4164
<i>Bambusa oldami</i>	3	4103	4149	4212	4155

Fonte: Ensaios realizados no Laboratório de Química da Universidade de São Paulo - USP

Os resultados dos ensaios apresentados na tabela 1 indicam valores médios próximos de 4000 kcal/kg (1700 kJ/kg) para todas as espécies, sendo o *D. giganteus* o menor valor (3739 kcal/kg). Talvez pelo fato dessa espécie oferecer colmos de grandes dimensões, é provável que umidade possa ter interferido na análise.

Na literatura existem trabalhos que avaliaram o poder calorífico superior da espécie *Bambusa vulgaris* aos três anos de idade e encontraram valores semelhantes (tabela 2).

Tabela 2 – Valores do Poder Calorífico Superior de bambu em literatura

Autores	Valor (kcal/kg)
Este estudo Guarnetti (2013)	4000
Moreira (2012)	4370
Aguiar & Rousset (2010)	4400
Brito et al. (1987)	4216
Ribeiro (2005)	4219
Valor Médio	4241

Fonte: Pesquisado em literatura pelo autor.

Comparando os resultados de PCS (médios) desse estudo com os valores de literatura, nota-se que não houve variações relevantes.

Com relação à variação do PCS na extensão do colmo, nota-se variação média de 8% entre a base e a ponta. Tal variação está de acordo com o que foi publicado em estudo recente por

Moreira (2012) que constatou maior densidade e poder calorífico na região da ponta do colmo.

Quando a comparação entre os PCS's são feitos considerando a espécie *Bambusa vulgaris* com dois e três anos, nota-se que os valores médios não apresentam diferenças significativas. O Grupo Penha adota o ciclo de corte de três anos e o Grupo João Santos de dois anos e meio, segundo informações das empresas, a decisão do momento da colheita depende da produtividade da plantação. Nesse contexto, os valores dos PCS's dos bambus explorados em ambas as empresas podem ser considerados os mesmos, desde que a umidade da biomassa esteja em torno de 30%.

2.8. Determinação do Poder Calorífico Inferior (PCI)

No experimento realizado no item 2.6 onde o objetivo foi determinar o Poder Calorífico Superior (PCS) de espécies populares de bambu usando uma bomba calorimétrica, a combustão acontece a volume constante, onde água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado. Diferente do que acontece na determinação do Poder Calorífico Inferior (PCI), água contida no combustível e formada na combustão se encontrando, ao final, no estado de vapor.

Como pode ser visto na equação 1, A diferença entre PCS e PCI inferior está associada à presença de água (umidade) relacionada à presença de H no combustível.

$$PCI = PCS - ((600 \times 9.H) / 100) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

PCI = Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)

PCS = Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg)

H = Teor de Hidrogênio (%)

De acordo com experimento do item 2.5.2, foi considerado o PCS = 4.000 kcal/kg como sendo o valor médio dos resultados encontrados realizados com a espécie *Bambusa vulgaris*, com 3 anos.

A porcentagem de hidrogênio na composição da biomassa de bambu foi considerada de acordo com a análise química elementar do bambu da tabela 3, (6%).

Tabela 3: Análise elementar do bambu

Análise Elementar	%
Carbono	47
Hidrogênio	6
Nitrogênio	0,9
Enxofre	0,8
Oxigênio	45

Fonte: (KLEINLEIN, 2010)

Substituindo os valores na equação 2, obtêm se;

Poder Calorífico Inferior (PCI) = 3.676 kcal/kg

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.2. Contexto Atual da Geração de Eletricidade a Partir de Biomassa no Brasil

A geração de energia elétrica no Brasil provém essencialmente de duas fontes energéticas, o potencial hidráulico e o petróleo, com grande predominância da primeira. Apesar da importância dessas fontes, o Brasil dispõe de alternativas para geração de energia elétrica, dentre as quais aquelas derivadas da biomassa.

No Brasil, o consumo de eletricidade cresceu a uma taxa média de 5,8% ao ano, de 1973 a 2011, enquanto a demanda total energética foi de 3,2%, e o PIB, de 3,4%, valores bem superiores aos verificados no mundo. O consumo residencial, no Brasil, evoluiu, em média, 6,3%, enquanto o industrial, 4,0%, evidenciando um maior uso social da energia (FILHO, 2013).

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE/2021, divulgado pelo Ministério de Minas e Energia, os investimentos do Setor Energético Nacional, no período 2011/2021, alcançam R\$ 1,09 bilhão, correspondentes a 2,3% e a 10,7% do PIB e da FBKF (formação bruta de capital fixo), nesses dez anos, respectivamente. Nesse montante, petróleo e gás natural participam com 68%, energia elétrica, com 25%, e biocombustíveis, com 7%.

No caso do setor elétrico, os investimentos nestes dez anos são da ordem de R\$ 270 bilhões (25% do total do setor energético), sendo 20% para geração (51% em hidrelétricas e 30% em biomassa e eólica) e 5% para transmissão. Os investimentos em distribuição não estão considerados nesses montantes. Nesse cenário, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), empresa pública federal, é hoje o principal instrumento de financiamento de longo prazo para a realização de investimentos e financiamento dos projetos de expansão da infraestrutura energética brasileira, assegurando empréstimos entre 60 e 70% do capital necessário.

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional – BEN 2013/ ano base 2012, a geração de energia elétrica no Brasil atingiu 552,5 TWh em 2012, resultado 3,9% superior ao de 2011. A geração de eletricidade a partir de não renováveis representou 16,7% do total nacional, contra 11,9% em 2011. O gráfico abaixo apresenta como a oferta interna de energia elétrica no Brasil está estruturada atualmente.

Figura 17 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil em 2012.

Fonte: Adaptado de BEN (2013)

O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo que a geração hidráulica responde por 70,1% da oferta interna. Somando as importações, que essencialmente também são de origem renovável, pode-se afirmar que 85% da eletricidade no Brasil é originada de fontes renováveis.

Em 2012, com acréscimo de aproximadamente 3,8 GW, a capacidade instalada das centrais de geração de energia elétrica do Brasil alcançou 120.973 MW, na soma das centrais de serviço público e autoprodutoras. Deste total, o acréscimo em centrais hidráulicas correspondeu a 47,8%, ao passo que as centrais térmicas responderam por 40,0% da capacidade adicionada.

Como discutido por Filho (2013), o planejamento da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil priorizou a exploração do potencial de geração hidrelétrica disponível nas bacias hidrográficas das regiões Sudeste, Sul e Nordeste, onde a infraestrutura para o seu aproveitamento era de mais fácil acesso. O potencial remanescente, além de situar-se em bacias hidrográficas mais distantes dos grandes centros de consumo está, em grande parte, localizado na Região Norte, que apresenta pouca declividade, com rios que se caracterizam como de planície.

Nos próximos dez anos, o planejamento energético do MME, considerando os estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2021, indica uma taxa média de crescimento de 4,9% ao ano para o consumo de eletricidade e para a demanda total de energia, num cenário de PIB de 4,7% ao ano. Embora as premissas sejam de crescimento moderado dos setores

intensivos em energia, a Copa do Mundo de 2014, as Olimpíadas de 2016 e o desenvolvimento do pré-sal deverão alavancar o crescimento da demanda de energia.

De acordo com o BEN (2013), segunda maior modalidade de geração elétrica do País é a térmica (figura 17), responsável por cerca de 30% da capacidade instalada, sendo 6,8% de energia utilizando biomassa.

De acordo com o Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em outubro de 2013, existem 474 termelétricas movidas a biomassa no país, que correspondem a um total de 11 mil MW (megawatts) instalados (tabela 4). Do total de usinas relacionadas, 16 delas são do setor de papel e celulose, utilizando como combustível em sua maioria o licor negro (resíduo da celulose), 45 por madeira (e resíduos) e 252 por bagaço de cana. Uma das características desses empreendimentos é o pequeno porte com potência instalada de até 60 MW, o que favorece a instalação nas proximidades dos centros de consumo.

Tabela 4 – Contribuição das termelétricas movidas a biomassa no Brasil em 2013

Combustível	Quant.	Potência (kW)	%
Papel e Celulose	16	1.417.182	12,75
Resíduos de Madeira	45	365.937	3,29
Bagaço de Cana de Açúcar	375	9.156.436	82,37
Total	474	11.116.832	100

Fonte: Dados da Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica

A eletricidade produzida pelo setor de cana de açúcar é significativa (82,37%), resultado da política de incentivo promovida pelo do Governo brasileiro na década de 70. O Proálcool - Programa Nacional do Álcool foi criado como uma alternativa para reduzir a dependência do País do petróleo, que representava na época, importações em patamares superiores a 80% das necessidades nacionais. Nesse cenário, cabe lembrar que a produção e utilização do etanol e da biomassa, na forma de bagaço da cana-de-açúcar, é um programa energético com viabilidade técnica, econômica e ambiental comprovada. Trata se do único programa de grande porte no mundo de uma fonte renovável de combustíveis líquidos, não derivados do petróleo, com baixa emissão de gases de efeito estufa. Além do emprego do etanol, no setor de transporte, substituindo a gasolina em veículos leves, o bagaço da cana-de-açúcar é utilizado na produção de calor e eletricidade, em cogeração eficiente, na indústria do açúcar e

do álcool, com excedentes supridos ao sistema elétrico, em condições competitivas com os custos marginais de expansão do parque gerador nacional. Em 2011, a geração térmica a bagaço de cana, para o Sistema Interligado Nacional, alcançou 10 TWh e estima-se que, em 2021, possa alcançar 40 TWh. Nos estudos de planejamento, esta fonte energética tem um custo de referência na faixa de R\$ 130,00 a R\$ 150,00/MWh.

As principais rotas tecnológicas para obtenção da energia elétrica a partir da biomassa preveem a conversão da matéria-prima em um produto intermediário que será utilizado em uma máquina motriz. Essa máquina produzirá a energia mecânica que acionará o gerador de energia elétrica, portanto, todas as rotas tecnológicas, também, são aplicadas em processos de cogeração – produção de dois ou mais energéticos a partir de um único processo para geração de energia, tradicionalmente utilizada e consolidada por setores industriais.

De acordo com Plano Nacional de Energia – PNE 2030, divulgado pela Aneel, as principais rotas tecnológicas utilizadas pelo setor são:

a) *Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão* - Empregado de forma integrada a processos produtivos por meio da cogeração. Nele, a biomassa é queimada diretamente em caldeiras e a energia térmica resultante é utilizada na produção do vapor. Este vapor pode acionar as turbinas usadas no trabalho mecânico requerido nas unidades de produção e as turbinas para geração de energia elétrica. Além disso, o vapor que seria liberado na atmosfera após a realização desses processos pode ser encaminhado para o atendimento das necessidades térmicas do processo de produção. Este processo está maduro do ponto de vista comercial e é o mais disseminado atualmente. O Brasil conta, inclusive, com diversos produtores nacionais da maior parte dos equipamentos necessários (figura 18).

Figura 18 - Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão

b) *Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração* - Consiste na condensação total ou parcial do vapor ao final da realização do trabalho na turbina para atendimento às atividades mecânicas ou térmicas do processo produtivo. Esta energia a ser condensada, quando inserida

em um processo de cogeração, é retirada em um ponto intermediário da expansão do vapor que irá movimentar as turbinas. A diferença fundamental desta rota em relação à contrapressão é a existência de um condensador na exaustão da turbina e de níveis determinados para aquecimento da água que alimentará a caldeira. A primeira característica proporciona maior flexibilidade da geração termelétrica (que deixa de ser condicionada ao consumo de vapor de processo). A segunda proporciona aumento na eficiência global da geração de energia. Este sistema, portanto, permite a obtenção de maior volume de energia elétrica. No entanto, sua instalação exige investimentos muito superiores aos necessários para implantação do sistema simples de condensação (figura 19).

Figura 19 – Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração.

c) Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa - A gaseificação é a conversão de qualquer combustível líquido ou sólido, como a biomassa, em gás energético por meio da oxidação parcial em temperatura elevada. Esta conversão, realizada em gaseificadores, produz um gás combustível que pode ser utilizado em usinas térmicas movidas a gás para a produção de energia elétrica. Assim, a tecnologia de gaseificação aplicada em maior escala transforma a biomassa em importante fonte primária de centrais de geração termelétrica de elevada potência, inclusive aquelas de ciclo combinado, cuja produção é baseada na utilização do vapor e do gás, o que aumenta o rendimento das máquinas.

A tecnologia de gaseificação de combustíveis é conhecida desde o século XIX e foi bastante utilizada até os anos 30, quando os derivados de petróleo passaram a ser utilizados em grande

escala e adquiridos por preços competitivos. Ela ressurgiu nos anos 80, quando começou a ficar evidente a necessidade de contenção no consumo de petróleo. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, a maior dificuldade para a sua aplicação não é o processo básico de gaseificação, mas a obtenção de um equipamento capaz de produzir um gás de qualidade, com confiabilidade e segurança, adaptado às condições particulares do combustível e da operação (figura 20).

Figura 20 - Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa.

3.3. O Bambu no Mundo

O bambu é uma espécie vegetal classificada botanicamente como *Bambusae*, uma tribo da família das *Gramíneas*. Pelas características de seu colmo, é considerada como uma planta lenhosa, monocotiledônea, pertencente às angiospermas, (HIDALGO LOPEZ, 1974).

Atualmente existem aproximadamente 1250 espécies sendo dividida em 75 gêneros (SCURLOCK et al, 2000). Em função da variedade espécies é comum observar na literatura valores divergentes, como os apresentados por Ohrnberger (1999) e Diver (2001), contabilizando 1500 espécies e 87 gêneros. Tal diferença está associada a falta de

conhecimento da taxonomia dessa planta que ainda é pouco compreendida (SCURLOCK et al., 2000).

Freire e Beraldo (2003) argumentam que a maioria dos bambus floresce em períodos muito longos, podendo variar de 30 até mais de 100 anos, sendo as flores e/ou frutos essenciais para a sua classificação. Assim, o número de espécies conhecidas de bambus é ainda hoje objeto de pesquisa.

Os bambus se distribuem naturalmente dos trópicos às regiões temperadas, tendo, no entanto, maior ocorrência nas zonas quentes e com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul.

Os bambus nativos crescem naturalmente em todos os continentes, exceto na Europa, sendo que 62% das espécies são nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e Oceania (HIDALGO, 2003). Somente a China tem cerca de 300 espécies, distribuídas em 44 gêneros, ocupando 33.000 km² o que corresponde a aproximadamente 3% da área florestal do país (YUMING e CHAOMAO 2010). Outro importante produtor de bambu é a Índia, com 130 espécies, abrangendo 96.000 km² ou aproximadamente 13% da área florestal do país.

A área estimada cultivada de bambu no Mundo é de aproximadamente 22 milhões de hectares, ocupando, assim, 1% da área florestal no planeta (HSIUNG, 1988). Todavia, a perspectiva para o século XXI é de que essa área alcance de 55 a 65 milhões de hectares, ocupando de 2% a 3% da área florestal total do planeta. Esta projeção tem três principais fatores de causa, o primeiro é o aumento do uso dessa planta no mundo todo e consequente aumento no plantio dos bambuzais. O segundo fator seriam as atuais divergências apresentadas no que se refere aos números oficiais de áreas de bambuzais em alguns países tropicais, principalmente da América do Sul e África e o terceiro e principal fator, a ausência de um inventário florestal dos bambus difusos nas florestas tropicais (MAOYI, 2004).

Embora milenar, a cultura do bambu, teve sua utilização e pesquisa, predominantemente restritas aos países orientais, se tornando um recurso natural consolidado principalmente na China onde existe escassez de recursos de origem florestal como a madeira. Nesse contexto, a China tem papel fundamental no desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu no Mundo, contribuindo para o desenvolvimento de inúmeras aplicações, como a construção de pontes, casas, móveis, cercas, utensílios domésticos, e na produção de polpa celulósica para a fabricação de papel (PEREIRA, 2001).

Os colmos do bambu possuem excelentes propriedades físicas e mecânicas que podem ser utilizadas em lugar dos custosos plásticos e metais. Suas características de leveza, força, dureza, conteúdo de fibras, flexibilidade e facilidade de trabalho são ideais para os diferentes

propósitos tecnológicos (Pereira, 1997), como por exemplo, utilização do bambu como material estrutural é talvez tão antigo quanto a civilização humana. Nas últimas décadas tem havido um crescente interesse no seu uso devido ao seu baixo custo, boas propriedades mecânicas, rapidez no crescimento de diversas espécies e, ainda, por ser um material com baixo consumo de energia na produção de estruturas acabadas. Este último fator é extremamente relevante, pois, nos últimos anos, a conscientização global com o alto consumo de energia e o consequente aumento da poluição vêm levando à pesquisa de materiais de origem natural que possam substituir produtos industrializados utilizados na construção civil. Nesse sentido, Pereira (2006) elaborou um organograma demonstrando as formas de utilização do bambu (Figura 21), em diversas áreas do setor produtivo, tanto em sua forma natural quanto na forma processada e industrializada.

Figura 21 – Possibilidades de utilização do bambu

Fonte: Adaptado de Pereira (2006).

Na alimentação, os países asiáticos mantêm a tradição do uso do bambu, onde a população consome o bambu isolado ou misturado a legumes e verduras. O broto de bambu é um alimento rico em proteínas, cálcio, ferro e vitaminas, é bastante apreciado nos mais variados pratos. Neste continente, brotos e cervejas de bambu também são processados e enlatados,

atividade que constitui parte importante da indústria alimentícia dessa região (TEIXEIRA, 2006).

A produção de laminados ou compensados utilizando colmos de bambu é outra utilização industrial. Existem várias fábricas de pisos laminados feitos de bambu, os chamados de *Plyboo*, pelo mundo. A tecnologia de produção de compensados de bambu é parecida com a utilizada em madeiras. O produto é obtido pela união de camadas delgadas de bambu dispostas alternadamente em ângulo reto. A união de tais camadas é realizada com resinas fenólicas. Na China, o potencial de produção de compensado de bambu é de 4.200.000 m³, que corresponde a quatro vezes à produção atual de compensado de madeiras (TEIXEIRA, 2006).

A Índia produziu, a partir do bambu, em 2005, cinco milhões de toneladas de celulose para papel, evidenciando a importância deste recurso florestal para aquele país (OSTAPIV et al., 2008).

Na Austrália, o RIRDC (Rural Industries Research & Development Corporation), um dos maiores órgãos ligados ao desenvolvimento e pesquisas na agricultura e indústria, tem obtido dados de interesse mundial com relação ao plantio do bambu em escala comercial. Em 1997, formulou um questionário relacionado ao cultivo do bambu na Austrália e enviou para produtores em todo país. Com base nas respostas, foi possível mapear e identificar os maiores problemas enfrentados pelos produtores. Os dados foram discutidos em congresso (MIDMORE, 1998), possibilitando elaborar um projeto de incentivo à produção em escala comercial de bambu, além de fornecer dados visando obter maior eficiência em seu manejo.

Na Costa Rica desde 1986, existe o Projeto Nacional do Bambu (El Proyecto Nacional de Bambu – PNB) que consiste em substituir o emprego de madeira por outro material alternativo, econômico e adequado a uma zona sísmica. O projeto tem como objetivos, dentre outros, o desenvolvimento de uma tecnologia de construção de residências que atendam os setores mais necessitados; instalação de uma fábrica de protótipos de móveis de bambu e instalação de uma fábrica de painéis de bambu, capazes de e baratear o custo de construção.

Na América Latina, países como o Equador, Costa Rica e a Colômbia, se destacam por utilizarem bambu em diversas aplicações como a construção de casas, pontes, postes e outros.

3.4. O Bambu no Brasil

O Brasil possui cerca de 9 milhões de hectares de bambu em seu território, com predominância nos estados do Amazonas e Acre. Apesar da região norte do Brasil possuir a maior área de bambuzais nativos, os estados da Bahia, São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina e Paraná possuem a maior diversidade de espécies (FIALHO et al., 2005).

Uma das maiores reservas nativas de bambu do mundo está localizada no sudoeste da Amazônia, somando aproximadamente 180.000 Km² (JUDZIEWICZ et al. 1999). Essa imensa mancha verde está distribuída em áreas que incluem as regiões da tríplice fronteira. As florestas abertas com bambus, do gênero *Guadua* abrangem o oeste do Estado do Amazonas, o Estado do Acre, o nordeste do Peru e o norte da Bolívia, constituindo-se na maior floresta nativa contínua de bambus no mundo (SILVEIRA, 2001). A figura que segue destaca a localização da reserva.

Figura 22 – Reserva nativa de bambu na tríplice fronteira.

Fonte: Adaptado de Silveira (2001).

O estado do Acre abriga 76% de toda a reserva (ESPÍRITO SANTO et al, 2003), cobrindo aproximadamente 600 mil hectares. A maior parte desse recurso natural está localizado na Reserva Extrativista Chico Mendes, no município de Xapuri, onde predomina o gênero *Guadua*, considerado de grande potencial econômico.

No Brasil, esta planta é encontrada em quase todo o território, tanto em regiões ao nível do mar quanto em regiões montanhosas. Embora abundante no País, esta planta ainda é pouco utilizada e pesquisada, limitando-se a aplicações tradicionais como artesanato, vara de pescar, móveis, broto comestível e indústrias que utilizam suas fibras para a produção de papel (PRESZNHUK, 2004). A cidade de Maceió, em Alagoas, hoje é referência no desenvolvimento de uma tecnologia para a utilização dos laminados de bambu. O Instituto do Bambu (INBAMBU) funciona desde 2002, e vem desenvolvendo pesquisas para geração de tecnologias, e de produtos a base de bambu.

As espécies mais comuns no Brasil, consideradas integradas na biodiversidade, são de origem asiática, e em sua maioria chegaram ao país trazidas por imigrantes portugueses: *Bambusa vulgaris* (Bambu-verde), *Bambusa tulldóides* (bambu-comum), *Dendrocalamus giganteus* (bambu-gigante ou bambu-balde) e algumas espécies de *Phyllostachys* (bambu-chinês) conforme publicado por Beraldo e Azzini (2004).

O importante centro de pesquisas chinês China Bamboo Research Center- CBRC destacou que a partir dos anos 1980 houve uma intensificação do uso do bambu em diversas áreas industriais, sobressaindo-se a produção de alimentos, a fabricação de papel, além de aplicações em engenharia e na química. No entanto, no Brasil a utilização dessa matéria-prima não é utilizada em larga escala devido à escassez de informações e a ausência de normas específicas (PEREIRA, 2007).

Além da importância ecológica, os bambus têm um alto valor econômico, movimentando bilhões de dólares por ano no mundo todo, segundo dados do International Network for Bamboo and Rattan – INBAR¹. São gramíneas utilizadas para os mais variados fins, de material de construção e instrumentos musicais a palitos de fósforo e alimentação. Esse potencial, no entanto, é pouco explorado no Brasil, em comparação com o uso que se faz da planta na China, Índia e outros países da Ásia, onde essas plantas são cultivadas há séculos. Em Bangladesh, por exemplo, 73% da população vivem em casas feitas de bambu (PNF, 2005).

A falta de conhecimento agrônomo e tecnológico desenvolvidos especificamente para o bambu dificulta a disseminação de seu uso (AZZINI e SALGADO, 1992). Nesse sentido, pesquisadores monitoram cultivos e estudam a viabilidade de sua aplicação na indústria, seja produzindo brotos ou colmos (PEEIRA e GARBINO, 2003). Um exemplo de pesquisa que tem colaborado diretamente com o desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu no Brasil é o Projeto Bambu, localizado na Área Experimental Agrícola do Departamento de Engenharia Mecânica da Unesp, campus localizado na cidade de Bauru, Estado de São Paulo.

Visando estudar o desenvolvimento, adaptação e produtividade das principais espécies de bambus cultivados no Mundo considerando as condições climáticas brasileira, em 1990 foram plantadas em uma área de 2500 m² diferentes espécies de bambu. Desde o ano de 1998 a plantação produz colmos com dimensões adequadas para o processamento, possibilitando o desenvolvimento de pesquisas que utilizem a matéria prima bambu. Nesse contexto, um dos resultados apresentados pelo Projeto é que espécies como o *Bambusa Vulgaris* e *Dendrocalamus Giganteus* (bambu gigante) apresentam posição de destaque quando considerada a adaptação e produção de biomassa por hectare. A figura 23 apresenta o resultado de alguns estudos realizados pelo Projeto Bambu.

Figura 23 – Monitoramento de espécies de bambu e estudo de aplicações industriais.

Fonte: Adaptado pelo autor do site de notícias da UNESP (<http://comunica.feb.unesp.br>)

No Brasil, esta planta é encontrada em quase todo o território, tanto em regiões ao nível do mar quanto em regiões montanhosas. Embora abundante no País, esta planta ainda é pouco utilizada e pesquisada, limitando-se a aplicações tradicionais como artesanato, vara de pescar, móveis, broto comestível e indústrias que utilizam suas fibras para a produção de papel (PRESZNHUK, 2004).

Nos últimos anos, a participação do governo brasileiro e entidades não governamentais têm colaborado diretamente para o desenvolvimento da cadeia produtiva de bambu no Brasil. Nesse contexto, a Lei nº 12.484, de setembro de 2011, que instituiu a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu - PNMCB, tem por objetivo o desenvolvimento da cultura por meio de ações governamentais e de empreendimentos privados. Com base nas diretrizes da PNMCB, o objetivo principal é promover o desenvolvimento tecnológico do manejo sustentado, cultivo e aplicações do bambu.

Outra ação importante do governo no sentido de disseminar a utilização do bambu no País foi a publicação do Memorando de Entendimento Entre China e Brasil sobre Cooperação Bilateral em Ciência e Tecnologia na Área de Desenvolvimento em Bambu, o objetivo deste Memorando é promover, desenvolver e facilitar a cooperação entre participantes do Brasil e da China em áreas de interesse comum em ciência, tecnologia e inovação na área de desenvolvimento em bambu, em especial em pesquisa, desenvolvimento e produção para o desenvolvimento sustentável.

A Rede Brasileira do Bambu – RBB³, criada em 2006 é uma rede nacional de pesquisa e desenvolvimento tecnológico integrado por pesquisadores, técnicos e profissionais de Universidades, Institutos de Pesquisa, entre outras organizações. Seu principal objetivo é compartilhar conhecimento sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu no Brasil. Especificamente, a RBB visa inserir o bambu no cenário brasileiro compartilhando conhecimento por meio de pesquisas financiadas por instituições públicas de pesquisa como FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).

Atualmente, a palavra bambu quando pesquisados na internet utilizando buscadores como o Google, por exemplo, fornece mais de 50 mil resultados. Nesse universo de possibilidades, merece destaques as questões ambientais favoráveis relacionando rápido crescimento da planta, estoque de carbono, recuperação de área degradada entre outras. Nesse cenário, onde o compartilhamento de informações é constante, cabe destacar aqui a participação de grupos de discussão com foco em bambu que utilizam a internet para compartilhar experiências. Um exemplo é Grupo Bambu Brasil⁴, que possui aproximadamente 1000 seguidores. Nesse Grupo são compartilhadas informações abrangendo desde a fase de cultivo do bambu até aplicações industriais, como a produção de pisos laminados.

³<http://www.redebrasileiradobambu.com.br>

⁴<http://www.bambubrasileiro.com/grupo/>

3.5. Papel e Celulose com Bambu

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA, atualmente no Brasil existem 220 empresas em atividade. Estão distribuídas em 18 Estados, 540 municípios, e 2,2 milhões de hectares de florestas plantadas para fins industriais, gerando 128 mil empregos diretos (indústria, 79 mil e florestas, 51 mil) e 640 mil empregos indiretos. As exportações são da ordem de US\$ 6,7 e saldo comercial de US\$ 4,7 bilhões, o resultados é positivo para o governo, pois gera aproximadamente R\$ 3,5 bilhões em impostos pagos. A partir da década de 80, o setor vem apresentando índices de eficiência que merecem destaque, seja na fase de cultivo da biomassa, como nos processos industriais, onde tecnologias de aproveitamento térmico como a cogeração e consequentemente a venda de eletricidade excedente tem colaborado para impulsionar a cadeira produtiva de papel e celulose no Brasil. Para se ter uma ideia, durante esse período, a produtividade de uma plantação de eucalipto voltada para esse apresentou aumento 80%, e no caso do pinus, 100%. A tabela 5 relaciona o aumento de produtividade dos principais cultivos de biomassa no setor de papel e celulose.

Tabela 5: Aumento da eficiência no cultivo de eucalipto e pinus no Brasil

Madeira para Celulose			
Produtividade média (m ³ /ha/ano)			
Espécie	1980	2011	Aumento
Eucalipto	24	44	83%
Pinus	19	38	100%

Fonte: Adaptado de BRACELPA (2013)

Atualmente o Brasil é o quarto maior produtor de celulose mundo, produz aproximadamente 13 mil toneladas por ano. Como produtor de papel, o País aparece em nono, com 9.000 mil toneladas de papel, e as razões para os altos níveis de produtividade são: clima, solo, pesquisa e desenvolvimento, setor privado organizado, mão de obra qualificada e avanços tecnológicos (genética, biotecnologia, matéria-prima de alta qualidade, planejamento sócio ambiental, manejo florestal e rotação de áreas plantadas). Em 2010 os principais destinos da exportação de celulose no Brasil foram a Europa e a China, enquanto que os maiores compradores de papel do Brasil foram a América Latina e a Europa (BRACELPA, 2010). O cenário se

promissor para os próximos anos, principalmente relacionadas a investimento de grandes empresas do setor em pesquisas voltadas ao melhoramento genético de espécies já consolidadas como sendo boas produtoras de biomassa como o eucalipto e o pinus. Nesse cenário de investimentos em melhorias de processos produtivos, a utilização do bambu na produção de papel e celulose começa a ganhar força.

De acordo com Azzini (1992), as espécies de gramíneas conhecidas vulgarmente como "bambus" apresentam grandes possibilidades de sucesso como fornecedoras de matéria prima para a indústria de celulose. Foram realizadas diversas pesquisas tanto no exterior (GUHA; SINGH & MITTAL, s.d.; SINGH et alii. 1968; SEMANA, ESCOLANO & MONSALUD, 1967; REDKO & MAZZEI, 1967) como no Brasil (REDKO & NISHIMURA, 1970, CIARAMELLO & AZZINI, 1971 e AZZINI; CIARAMELLO & NAGAI, 1971), indicando que os bambus podem produzir celulose de ótima qualidade pelos processos convencionais de cozimento.

Com o objetivo de estudar as possibilidades de utilização do bambu como matéria prima fibrosa para produção de celulose e papel, em 1960, o Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo – IAC - iniciou o plantio das principais espécies de bambus utilizadas no mundo como o *Bambusa vulgaris*, *B. Oldhami*, *B. tulldóides* etc. Os exemplares foram plantados nas Estações Experimentais de Taui e de Campinas. Os estudos realizados pelo Instituto mostram que existem grandes potencialidades para essa gramínea em regiões tropicais, que apesar da excelente qualidade da celulose produzida a partir de muitas espécies de bambu, poucos países atualmente têm reservas naturais ou plantios suficientemente grandes para sustentar a produção de fábricas de papel. Entre os países produtores, apenas a Índia e a China podem ser classificados como grandes produtores de pastas celulósicas de bambu. Além destes, há também produtores bem mais modestos como Myanmar, Vietnam e Brasil (AZZINI, 1981).

As principais entidades de pesquisa brasileiras que colaboram com pesquisas voltadas ao emprego de fibras de bambu no Brasil têm apresentado resultados positivos nos últimos anos, são elas: IAC - Instituto Agrônomo de Campinas; UFV - Universidade Federal de Viçosa; ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. As fibras do bambu são longas como as do pinheiro e estreitas como as do eucalipto, resultando em maior entrelaçamento das fibras e conferindo ao papel feito de bambu como sendo o mais resistente a tração já produzido. (MATOS JUNIOR, 2004), por esse motivo, os papéis produzidos com bambu são especiais para fabricação de sacos de embalagem, em especial para embalar cimento e produtos químicos em pó. Isso porque são excepcionalmente

resistentes ao rasgo e produzem folhas de boa porosidade. Também respondem bem ao refino da massa, desenvolvendo resistências sem perder a rigidez das fibras. Em função dessa mesma rigidez das fibras, as propriedades dependentes das ligações entre fibras são influenciadas para menos, tais como as resistências à tração, estouro e alongação. Entretanto, o grande potencial está na combinação de suas propriedades com as de outras fibras celulósicas, nas receitas de inúmeros tipos de papéis que exigem resistências e porosidade.

Visando explorar o setor de papel e celulose no País, o Grupo Industrial João Santos investiu em reflorestamento de bambu há mais 30 anos no Brasil. Atualmente o Grupo detém a maior plantação de bambu do mundo, cultivando aproximadamente 30 mil hectares da espécie *Bambusa vulgaris*, sendo a única indústria de celulose das Américas que utilizam as fibras do bambu como matéria prima.

O Grupo João Santos, é a única empresa brasileira de beneficiamento e produção de papel de bambu da América Latina. São explorados atualmente aproximadamente 30 mil hectares de bambu da espécie *Bambusa vulgaris* divididos em duas unidades industriais:

1) Cepasa - Celulose e Papel de Pernambuco S.A, processa aproximadamente 5 mil toneladas por mês de biomassa de bambu, gerando 4 mil empregos direto. Está localizada no município de Jaboatão dos Guararapes, estado de Pernambuco. Na região são cultivados 16 mil hectares de *Bambusa vulgaris* voltados a produção de celulose. Nesse sistema, os colmos são colhidos geralmente a cada dois anos e meio, pelo método do corte raso. Os colmos cortados permanecem no campo por duas ou três semanas, até perderem todas as folhas e uma parte de sua umidade. Um picador móvel então corta os colmos e os ramos desfolhados em cavacos, que serão classificados por peneiras vibratórias somente depois de serem transportados em caminhões até as fábricas. Os cavacos menores podem ser usados como combustível para a geração de vapor, enquanto que os cavacos maiores são convertidos em celulose e papel. O processo de produção de celulose de bambu é o *Kraft*, já consolidado e amplamente empregado atualmente no Brasil (PNF, 2005). Trata-se de um processo químico que visa dissolver a lignina, preservando a resistência das fibras, obtendo-se dessa maneira uma pasta forte (kraft significa forte em alemão), com rendimento entre 50 a 60%. É muito empregado para a produção de papéis cuja resistência é o principal fator, como para as sacolas de supermercados, sacos para cimento, etc. (PIOTTO, 2003).

O processo de produção de celulose pelo método Kraft pode ser dividido em diversos estágios, conforme representado na figura 24.

Figura 24 – Processo de produção de papel e celulose de bambu.

Fonte: Adaptado de PIOTTO (2003)

2) Itapagé S.A - Foi fundada em 1974 no estado do Maranhão, às margens do Rio Parnaíba, localizada no município de Coelho Neto. Atualmente unidade industrial está desativada temporariamente em função da modernização de seus processos. No entanto, exploração de biomassa de bambu acontece normalmente, sendo explorados atualmente 16 mil hectares de bambu, que serão destinados já na forma de cavaco para a Cepasa – unidade Pernambuco – onde será transformada em papel.

Na figura 25 pode ser observada a localização das empresas do Grupo João Santos.

Figura 25 – Localização das empresas do Grupo João Santo

Fonte: Fotos autor durante a visita na Itapagé em 2011

3.6. Aproveitamento Energético da Biomassa de Bambu no Brasil

De acordo com pesquisas realizadas em literatura, nota-se que mesmo não havendo estudos abordando cogeração de eletricidade com bambu, os aspectos energéticos de sua biomassa vêm sendo estudado com maior intensidade nos últimos anos.

Moreira (2012) caracterizou as propriedades energéticas da biomassa de bambu da espécie *Bambusa Vulgaris*. Os resultados indicam que a composição química do *Bambusa Vulgaris* é comparável à madeira, sugerindo sua utilização para os mesmos usos energéticos da madeira. O autor recomenda atenção especial com as cinzas, uma vez que o *Bambusa vulgaris* possui um teor elevado desta, cerca de 7,5% para colmos de 3 anos e que sua acumulação na grelha

pode prejudicar o bom funcionamento da caldeira. Com base nesses resultados, o autor recomenda a seleção de matrizes de bambu que apresentem um menor acúmulo de cinzas e um alto índice de densificação à medida que os colmos ficam mais velhos seria o ideal para se obter um bambu mais eficiente energeticamente.

A utilização do bambu no Brasil começa a ganhar força a partir da aprovação da Lei de Incentivo ao Cultivo do Bambu, em 2010. O texto (PLC 326/09) institui incentivos ao cultivo e ao desenvolvimento tecnológico da produção de bambu. O projeto também propõe mecanismos para estimular o comércio interno e externo do bambu, além de propor estímulos à produção pela agricultura familiar. No entanto, essa lei não aborda questões relacionadas ao emprego do bambu para fins energéticos, fato que estimula ainda mais pesquisas voltadas a esse fim.

Indicando que a Lei de Incentivo ao Cultivo do Bambu começa a apresentar resultados positivos e, portanto, confirmando o bom momento que o bambu atravessa no Brasil, em setembro de 2013 o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, abriu edital (numero 66/2013) com o objetivo de fornecer apoio financeiro a projetos que visem contribuir significativamente para o desenvolvimento científico e tecnológico e inovação do País. Vale destacar as linhas temáticas oferecidas que são consideradas como gargalos no Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Bambu pelo Ministério, no entanto como essa tese tem o objetivo de estudar cultivos em larga escala, os principais itens considerando esse aspecto são:

- Propagação de espécies de bambu;
- Plantio em larga escala para biomassa e celulose;
- Demonstração de tecnologias para aproveitamento energético do bambu;
- Transferência tecnológica em produção e plantio de mudas;
- Introdução de novas espécies de bambu no Brasil.

Muito provável que partir dos resultados obtidos nos itens acima, novas perspectivas para cadeia produtiva do bambu no Brasil serão apresentadas em médio prazo, no entanto, estudos envolvendo produção de biomassa e potencial energético do bambu merece destaque:

Anselmo e Badr (2004) avaliaram o potencial energético da biomassa no Nordeste do Brasil. O estudo mostrou que o bambu depois da cana de açúcar é a biomassa com maior potencial de geração de eletricidade. Estudos como este indicam que pesquisas no campo da biomassa

envolvendo bambu são cada vez mais frequentes, como é o caso de Scurlock et Hames (2000) que estudaram a viabilidade de se empregar o bambu como bicomcombustível. O estudo apontou inúmeras divergências entre dados relacionados à produção do bambuzal quando comparado a localidades diferentes. Problemas como produção de mudas e o florescimento impedem avanços consideráveis no campo da geração de energia utilizando bambu, pois esses sistemas necessitam de grandes áreas de cultivo.

O aproveitamento energético da biomassa de bambu já realidade no Brasil. O Grupo Penha, formado por sete unidades localizadas nos estados de São Paulo, Paraná e Bahia, atuando nas áreas de produção de chapas e embalagens de papelão ondulado, papéis reciclados, captação e comercialização de aparas, há mais de 50 anos fabrica papelão ondulado, ocupando atualmente o quinto lugar do setor no País. Na unidade localizada na cidade de Santo Amaro, estado da Bahia, distante 90 km da capital Salvador, está localizada uma das unidades industriais do Grupo. Nessa unidade, o vapor utilizado no processo de reciclagem de papelão é obtido por meio da queima de biomassa de bambu em caldeira de 15 bar, fornecendo 15 t/h de vapor a 200 °C. Atualmente sistema consome 4,5 t/h de cavaco de bambu com 30% de umidade. A área explorada de bambu é de aproximadamente 3 mil hectares, divididas em três propriedades, com distância máxima de 100 km.

No sistema de exploração de biomassa realizada pelo Grupo Penha, o bambu é colhido manualmente com ciclo de 3 anos, realizando o corte raso da moita e separando os colmos dos galhos. Depois de cortados, os colmos são levados até a central de picagem e estocagem. Nessa área se encontra um picador de biomassa que recebe os colmos já com umidade próxima de 40% transformando a biomassa em cavacos que irão abastecer a caldeira depois de 20 dias e umidade de 30%.

3.7. Carvão de Bambu

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de carvão vegetal do mundo. A produção nacional de carvão vegetal, considerando-se a variação de estoques, perdas e ajustes, é aproximadamente equivalente ao consumo, haja vista que as exportações e as importações são praticamente inexpressivas e quase se equivalem. A maior parcela de carvão vegetal produzida e consumida no país provém de florestas plantadas (74%) contra 26% de florestas nativas (AMS, 2004).

O poder calorífico do bambu é igual ou superior às espécies comumente usadas para a obtenção de carvão, como o Pinus e Eucalipto, e a sua alta capacidade de renovação caracteriza esta planta como uma importante fonte renovável de energia (RIBEIRO, 2005).

Há décadas, pesquisadores tem se dedicado a pesquisas envolvendo carvão de bambu. Salgado e colaboradores (AZZINI, 1987) realizaram experiências com carvão de bambu. Amostras de colmos de *Bambusa vulgaris* var. *vittata*, *B. vulgaris*, *B.tuldoides*, *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua angustifolia* coletadas a várias alturas de touceiras adultas e foram carbonizadas em condições de laboratório, caracterizando se os carvões obtidos. Amostras de madeira de Eucaliptos foram utilizadas no processo de carbonização, para comparação dos resultados. Destacaram-se, dentre as diferenças observadas, a maior densidade básica, menor teor de lignina e holocelulose e maior teor de extrativos totais dos colmos. Estes apresentaram maiores rendimentos em carvão e em gases não condensáveis. Observou se que o carvão do bambu é mais denso e tem maiores teores de cinzas em relação ao carvão da madeira.

Os países orientais há séculos produzem e conhecem as propriedades do carvão de bambu, porém no Brasil ainda são poucas as iniciativas, apesar de muitas pesquisas terem sido desenvolvidas para produção de carvão como biomassa e como tratamento de esgoto. Um exemplo destas iniciativas foi verificado no estado de São Paulo, onde uma associação beneficente trabalha com produção de carvão de bambu e utensílios cerâmicos para geração de renda (PRESZNHUK, 2004).

3.8. Estudo da Sustentabilidade do Cultivo do Bambu em Grande Escala no Brasil

A implantação de um sistema de cogeração de eletricidade que utiliza biomassa como combustível deve apresentar viabilidade técnica, econômica e ambiental. Portanto, a fase de cultivo do bambu precisa ser estudada com foco nos recursos utilizados durante seu processo de produção, pois produtividade da uma plantação pode representar altos investimentos em energia e dinheiro, inviabilizando o projeto.

Guarnetti (2007), em sua dissertação de mestrado, estudou a sustentabilidade ambiental do cultivo do bambu em larga escala no Brasil. A metodologia utilizada foi a Contabilidade Ambiental em Emergia, desenvolvida por Odum (1996). Ela é capaz de avaliar a sustentabilidade do cultivo de bambu, pois ao mesmo tempo permite contabilizar os recursos naturais e econômicos que atravessam o sistema utilizando uma unidade comum, denominada

sej (joule de energia solar). Nesse sentido, Brown e Ulgiati (2002), definiram o Indicador de Sustentabilidade em Emergia (ESI), que reflete a habilidade do sistema produtivo em maximizar o rendimento e minimizar a carga ambiental. Um dos resultados apresentados é a influência da mão de obra empregada na fase de cultivo (34%), sendo este, o recurso mais significativo. Essa característica se deve ao fato de o bambu demandar alta intensidade de mão de obra em função do manejo não ser mecanizado. Quando foi analisado o cultivo e pinus no Brasil, a mão de obra empregada foi em torno de 5% da emergia do sistema, evidenciando ser uma cultura mecanizada, já que o diesel representa aproximadamente 20% em emergia. A metodologia em emergia ainda permite inserir parcelas renováveis nos insumos empregados no cultivo de acordo com índice de renovabilidade da matriz energética e mão de obra da localidade a ser estudada. Nesse sentido, o Brasil apresenta condições favoráveis para cultivo do bambu, pois apresenta valores consideráveis na renovabilidade de sua matriz energética (50% renovável), e da mão de obra (70% renovável).

Netto, (2009), realizou a Avaliação Multicritério (AMC) de uma plantação comercial de bambu com diferentes cenários: estoque de biomassa, papel e energia. A AMC consiste em um conjunto de metodologias utilizadas que resulta em uma avaliação mais completa em relação às avaliações baseadas em uma única metodologia. A escolha das metodologias que compõem a AMC possui relação direta com o empreendimento a ser avaliado e com tipo de resultados que se quer obter. Especificamente, foram aplicadas um conjunto de metodologias como a Análise de Energia Incorporada, Intensidade dos Fluxos de Materiais, Consumo de Exergia Cumulativa, Contabilidade Ambiental em Emergia e Contabilidade dos Fluxos de CO₂. A dissertação constatou que os insumos que mais contribuem para a carga ambiental são o óleo diesel, o fertilizante 14-20-14 e o calcário. Visando diminuir a carga ambiental de uma plantação comercial de bambu foi simulada a substituição de insumos com maior carga ambiental por insumos mais "limpos", como a troca de óleo diesel por biodiesel, fertilizante por esterco bovino curtido e calcário por cinzas de madeira. Os resultados apontaram melhorias no processo consideram a carga ambiental do cultivo.

4. ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA DE COGERAÇÃO DE ELETRICIDADE UTILIZANDO BAMBU NO BRASIL

4.2. Empresas que utilizam bambu como fonte de biomassa no Brasil

Atualmente existem duas empresas que cultivam extensas plantações de bambu voltado a produção biomassa no País: Grupos João Santos e Grupo Penha.

Na figura 26 está representada a localização das empresas: Grupo João Santo (Itapagé) e do Grupo Penha.

Figura 26 - Localidade dos plantios em grande escala no Brasil.

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.1. O Grupo João Santos – Unidade de Coelho Neto

O Grupo João Santos, é a única empresa brasileira de beneficiamento e produção de papel de bambu da América Latina. São explorados atualmente aproximadamente 30 mil hectares de bambu da espécie *Bambusa vulgaris* divididos em duas unidades industriais:

1) A Cepasa - Celulose e Papel de Pernambuco S.A (mencionada no capítulo 3), atualmente processa 5 mil toneladas por mês de biomassa de bambu, gerando 4 mil empregos direto. Está localizada no município de Jaboatão dos Guararapes, estado de Pernambuco. Na região são cultivados 16 mil hectares de *Bambusa vulgaris* voltados a produção de celulose. Nesse sistema, os colmos são colhidos geralmente a cada dois anos e meio, pelo método do corte raso. Os colmos cortados permanecem no campo por duas ou três semanas, até perderem todas as folhas e uma parte de sua umidade. Um picador móvel então corta os colmos e os ramos desfolhados em cavacos, que serão classificados por peneiras vibratórias somente depois de serem transportados em caminhões até as fábricas.

2) A Itapagé S.A foi fundada em 1974 no estado do Maranhão, às margens do Rio Parnaíba, localizada no município de Coelho Neto. Atualmente a unidade industrial está desativada temporariamente em função da modernização de seus processos. No entanto, exploração de biomassa de bambu acontece normalmente, sendo explorados atualmente 16 mil hectares de bambu, que serão destinados já na forma de cavaco para a Cepasa – unidade Pernambuco – onde será transformada em papel.

A cidade de Coelho Neto está localizada na região leste do Estado do Maranhão e distante aproximadamente 400 km da capital São Luis. Segue características geográficas.

Área: 975,549 km²

População: 47 mil habitantes;

Clima: Tropical;

Temperatura média: 28 °C

Precipitação média: 1500 mm

A evolução da temperatura e distribuição das chuvas durante o ano na cidade de Coelho Neto é mostrada na figura 27.

Figura 27 - Evolução da temperatura e distribuição das chuvas durante o ano na cidade de Coelho Neto

Fonte: Climatempo (www.climatempo.com.br)

Com o objetivo de coletar maiores informações de campo que pudessem colaborar com a qualidades dos dados utilizados nessa tese, foi realizada visita na Itapagé em 2009 (figura 28).

Figura 28 - Itapagé – Coelho Neto

Fonte: Fotografado pelo autor durante a visita (2009)

A tabela abaixo mostra os dados coletados em visita realizada na Itapagé em setembro de 2009.

Tabela 6 - Dados referentes a plantação do Grupo João Santos

Área total de bambu	30 mil	ha
Produção (30% de umidade)	25	t/ha
Ciclo de corte	2,5	anos
Espaçamento	7 x 3,5	m
Espécie	<i>Banbusa vulgaris</i>	

Fonte: Grupo João Santos

4.2.2. Grupo Penha - Unidade de Santo Amaro

O Grupo Penha é formado por sete unidades localizadas nos estados de São Paulo, Paraná e Bahia, atuando nas áreas de produção de chapas e embalagens de papelão ondulado, papéis reciclados, captação e comercialização de aparas. Na unidade localizada na cidade de Santo Amaro, estado da Bahia, distante 90 km da capital Salvador, está localizada uma das unidades industriais do Grupo (mapa da figura 26). Nessa unidade, o vapor utilizado no processo de reciclagem de papelão é obtido por meio da queima de biomassa de bambu em caldeira de 15 bar, fornecendo 15 t/h de vapor a 200 °C. Atualmente sistema consome 4,5 t/h de cavaco de bambu com 30% de umidade. A área explorada de bambu é de aproximadamente 3 mil hectares, divididas em três propriedades, com distância máxima de 100 km. Atualmente são queimados 70ha/mês com rendimento 200m³/ha, de cavacos, tornando a empresa auto-suficiente em energia para a geração de vapor.

Seguem dados geográficos informados no site da Prefeitura de Santo Amaro.

Área: 518 km²;

População: 58 mil habitantes;

Clima: semi-úmido;

Temperatura média: 24 °C;

Precipitação média: 1600 mm

Características da vegetação: apresenta floresta tropical atlântica e vegetação de mangue.

A figura 29 mostra a evolução da temperatura e distribuição das chuva durante o ano.

Figura 29 - Evolução da temperatura e distribuição das chuva durante o ano na cidade de Santo Santo Amaro

Fonte: Climatempo (www.climatempo.com.br)

Visando coletar informações sobre o processo de geração de vapor utilizando biomassa de bambu utilizada pelo Grupo Penha, foi realizada visita nas instalações industriais e no cultivo de *Bambusa vulgaris*. A figura abaixo apresenta os principais processos realizados pela empresa no manejo da biomassa.

Figura 30 - Etapas do processo de preparação da biomassa.

Fonte: Fotos do autor em visita realizada na unidade Santo Amaro

4.2.3. Implantação de um Sistema de Cogeração de Eletricidade Utilizando Bambu: Estudo de Caso Considerando Dados do Grupo Penha

Como o objetivo de dimensionar um sistema de cogeração utilizando biomassa de bambu, serão considerados os dados coletados na ocasião da visita realizada em 2009 pelo autor. A tabela 7 apresenta os principais dados que serão considerados no dimensionamento.

Tabela 7 – Dados atuais de produção de biomassa e vapor do Grupo Penha

Área total de bambu	3000	ha
Produção (30% de umidade)	25	t/ha ano
Ciclo de corte	3	anos
Consumo de biomassa	4,5	t/h
Espécie	<i>Bambusa vulgaris</i>	

Capacidade da caldeira	15	bar
Vapor utilizado no processo	15	t/h
Temperatura do vapor	200	°C
Eficiência	85	%

Operação da Indústria	24 horas	
Eletricidade consumida	7	MW.h/mês

Fonte: Levantamento de campo durante a visita no Grupo Penha

O local considerado para a implantação do sistema de cogeração com bambu é a cidade de Santo Amaro, indicada no mapa da figura 26. A escolha se deu pelo fato de o Grupo Penha Papel já explorar aproximadamente 3 mil hectares de bambu com fins energéticos no município desde 2007. Em função da experiência nesse modelo de exploração, onde o bambu é queimado gerando vapor ao processo industrial, foi possível dimensionar o sistema de cogeração optando por dados fornecidos pela própria empresa sempre que possível.

O dimensionamento do sistema considera as demanda de eletricidade (7 MW.h/mês) e vapor (15 t/h) referentes aos dados da Penha Papel e Celulose. Tanto o sistema de geração térmica quanto o de eletricidade, deverão operar continuamente, ou seja, 24 horas por dia e com fator de operação de 90%, devido a necessidade de paradas para manutenções periódicas dos equipamentos.

Atualmente o sistema de geração de vapor da planta está dimensionado apenas para atender a demanda da planta industrial (caldeira de 15 bar). Na situação atual a planta industrial usa bambu apenas para fins térmico (vapor do processo) sendo a eletricidade consumida da rede.

Na situação proposta é avaliado uma planta de cogeração fornecendo vapor e eletricidade para o processo, além de eletricidade à rede.

O estudo do sistema de cogeração a partir de bambu proposto abrange desde a fase de cultivo até a eletricidade e vapor fornecidos na saída do processo. Nota se que as principais operações

relaizadas na fase de cultivo, que é caracterizada pela parte agrícola do processo, aparecem em destaque para melhor compreensão das interações entre os diversos componentes do sistema.

Nesse sistema, o bambu é fonte de toda a energia produzida pela planta. Depois de colhido, os colmos são transportados até o picador, onde na forma de cavacos, permanecem por aproximadamente 20 dias visando atingir a umidade desejada para a queima (30%). A próxima etapa é transportar a biomassa para a indústria, onde é queimada em caldeira com o objetivo de gerar vapor que alimentará o processo.

A opção pelos equipamentos utilizados nesse estudo considera que o sistema de cogeração de eletricidade deverá fornecer eletricidade suficiente para atender a demanda dos processos industriais e e ainda gerar excedente a níveis de mercado.

Na figura 31 é possível analisar o sistema de cogeração com base nos fluxos de energia que atravessam o sistema. A configuração básica do processo obedece o ciclo termodinâmico Rankine, onde o vapor que entra na turbina aciona o gerador elétrico e ao mesmo tempo fornece vapor para o processo industrial (extração).

No cálculo, foi realizado balanço de massa com o uso da expressão, referente a equação 1 (HUGOT, 1977).

$$Q_c = Q_v \cdot \frac{(h_v - h_a)}{\eta \cdot (PCI)} \quad (1)$$

Onde:

Q_c = quantidade de combustível (cavaco de bambu (kg)

Q_v = quantidade de vapor (kg)

h_v = entalpia do vapor em função da pressão e temperatura (kcal/kg)

h_a = entalpia da água em função da temperatura (kcal/kg)

η = rendimento (%)

PCI = Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)

Figura 32 - Dimensionamento do sistema de cogeração

Fonte: Elaboração do autor

4.3. Equipamentos Utilizados no Sistema de Cogeração

Como no Brasil não existe processos de cogeração que utilize bambu como fonte de biomassa, foram realizadas pesquisas junto aos principais fornecedores de caldeiras e turbinas (nacional), visando adotar valores comerciais dos equipamentos.

A caldeira de 60 bar foi adotada com base nas configurações já consolidadas em sistemas de cogeração de eletricidade que operam no setor de papel e celulose no brasileiro atualmente. Nota-se ganhos em eficiência em sistemas de geração de eletricidade com venda de excedente quando opta por sistemas que utilizam caldeiras superiores a 60 bar.

O dimensionamento da caldeira também levou em conta o financiamento disponível no mercado para esse tipo de empreendimento. O Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES – oferece financiamento a sistemas de energias alternativas, com caldeiras igual ou mais que 60 bar, oferecendo prazo e juros de mercado diferenciado (maiores detalhes sobre financiamentos no capítulo 6 – Políticas de incentivo ao uso do bambu no Brasil).

Com base no rendimento da caldeira, a energia consumida pela indústria, a turbina e o gerador foram dimensionados.

A proposta da empresa TGM Turbinas, que pode ser lida no anexo C, foi escolhida para o estudo de caso pelo fato de ser competitiva no mercado de fornecimento de soluções e equipamentos para acionamentos de geradores de energia elétrica, com foco em energia renovável.

Os dados técnicos da turbina a vapor TGM, multiestágio, de reação, condensação com extração controlada, modelo CTE 20 é apresentada na tabela 8.

Tabela 8: Dados técnicos da turbina

Máquina acionada	GERADOR	
Modelo da turbina	CTE 20	
Potência nos bornes do gerador	3.900	kW
Pressão do vapor de entrada	60,0	bar
Temperatura do vapor de entrada	490	°C
Vazão do vapor de entrada	25.000	Kg/h
Entalpia do vapor de entrada	3399,12	KJ/kg
Pressão do vapor na extração	10,0	bar(a)
Temperatura do vapor na extração	281,81	°C
Vazão de vapor na extração	15.000	Kg/h
Entalpia do vapor na extração	3012,62	KJ/kg
Pressão do vapor no escape	0,01	bar
Temperatura do vapor no escape	45,81	°C
Vazão do vapor no escape	10.000	Kg/h
Entalpia do vapor no escape	2457,81	KJ/kg
Rotação da turbina	12.000	Rpm
Rotação da máquina acionada	1.800	Rpm
Tolerância	1	%

Eficiência adotada para o gerador **96,8%**; redutor: **98,5%**

Fonte: TGM Turbinas

A tabela que segue apresenta a relação e preço dos equipamentos necessários para a implantação do sistema de cogeração estudado nesta tese.

Tabela 9 – Equipamentos ofertados pela TGM Turbinas

CENBIO - Projeto Penha Papel e Celulose / Termoelétrica 3,5 MW - 13,8 KV	
Equipamentos ofertados pela TGM Turbinas	R\$
Caldeira aquatubular	
Caldeira 25 t/h / 60 bar (a) / 490 °C / Transporte / Montagem eletromecânica	9.000.000,00
Pátio de combustível / moega / esteiras	925.000,00
TGM	
Turbina de condensação CTE 25 / 3,5 MW / acessórios	4.000.000,00
Serviços de instalação, comissionamento e partida	400.000,00
WEG	
Gerador 4.375 KVA / 13,8 kV/ Cubículos / CCM'S / Transformador	1.531.000,00
Integrador NTG	
Engenharia básica/detalhamento (civil/mecânica/elétrica/instrumentação)	7.765.000,00
Gerenciamento de implantação planejamento/compras/diligenciamento/Supervisão de obras/fiscalização de construções	
Assistência ao comissionamento e testes	
EQUIPAMENTOS / SERVIÇOS DO B.O.P. (BALANCE OF PLANT)	
Obras civis (bases de equipamentos/Casa de força (1 nível) Sala de painéis/Sala de controle)	
Matérias de interligação mecânicos (tubos/válvulas/pipe-racks etc.)	
Materiais de interligação elétricos (cabos/conectores/bandejamento etc.)	
Montagem eletromecânica	
ETA/DESMI	
Pátio de combustível/moega/esteiras	
Torre de resfriamento/bombas de circulação (600 m3/h)	
Ar comprimido	
Equipamentos e sistemas auxiliares	
TOTAL EPC	23.621.000,00

Fonte: TGM Turbinas

4.4. Análise Econômica da Cogeração de Eletricidade a Partir de Bambu

Visando realizar a análise econômica da implantação de um sistema de cogeração de eletricidade utilizando biomassa de bambu nas instalações existentes do Grupo Penha – Unidade Santo Amaro, foram consideradas as seguintes metodologias:

Valor Presente Líquido (VPL) - leva em conta o valor do dinheiro no tempo. Portanto, todas as entradas e saídas de caixa são tratadas no tempo presente. O VPL de um investimento é

igual ao valor presente do fluxo de caixa líquido do projeto em análise, descontado pelo custo médio ponderado de capital.

Taxa Interna de Retorno (TIR) - é a taxa “i” que se iguala as entradas de caixa ao valor a ser investido em um projeto. Em outras palavras, é a taxa que iguala o VPL de um projeto a zero.

Payback (PB) - é o período de tempo necessário para recuperar o investimento, avaliando-se os fluxos de caixa descontados, ou seja, considerando-se o valor do dinheiro no tempo.

Taxa Mínima de Atratividade (TMA) - Os critérios do VPL e da TIR baseiam-se em fluxos de caixa descontados a uma determinada taxa. Esta taxa é denominada de TMA, ou seja, o retorno mínimo exigido para o projeto de investimento. Assim, quando a TIR de um projeto for superior a TMA, o projeto deveria ser aceito, pois, além de superar os custos do projeto de investimento e pagar o custo de capital, um possível remanescente da taxa adicionaria valor à firma.

Investimento Inicial

A viabilidade de um projeto de geração de energia, principalmente os que utilizam biomassa, necessitam de maior atenção quando é realizada a análise econômica, pois a fase de cultivo pode gerar investimentos capaz de inviabilizar o empreendimento.

A viabilidade econômica da implantação de um sistema de cogeração de eletricidade com bambu, deve considerar os aspectos abaixo.

Investimento em áreas agrícolas

De acordo com dimensionamento e configuração dos equipamentos, é necessário investir na compra de áreas rurais, visando aumentar a biomassa de bambu disponível para alimentar o processo.

Atualmente o Grupo Penha explora 3 mil hectares de *Bambusa vulgaris*. Considerando o fornecimento constante de energia e vapor (24 horas), o aumento da área explorada considerou os critérios que segue.

- Consumo da Caldeira (68 bar) = 17 t/h
- Ciclo de corte = 3 anos
- Demanda de cavaco de bambu na caldeira bambu em 3 anos= 445 mil toneladas

- Produtividade do plantação = 25 t/ha.an

Área necessária para abastecer o sistema = 17.800 ha

Considerando que atualmente a empresa explora 3 mil hectares, é necessário investir na compra de pelo menos 15 mil hectares de terras voltadas ao plantio do bambu.

Área a ser adquirida pela empresa = 15.000 ha

Compra de mudas

Como discutido no capítulo 5, que trata das barreiras para a implantação de cultivos de bambu em grande escala no Brasil, a disponibilidade mudas para projetos desse porte pode inviabilizar o empreendimento. De acordo com pesquisas realizadas no mercado brasileiro, entre fornecedores de mudas de diversa regiões do país, a muda da espécie *Bambusa vulgaris* com 6 meses de idade apresentou preço médio de R\$ 10,00 (dez reais), desconsiderado o valor do frete.

Considerando o espaçamento utilizado em cultivos voltados a produção de biomassa (7m x3,5 m), para 1 (um) hectare de bambu são utilizadas 408⁵ mudas.

Investimento na compra de terras

Para que a o Grupo Penha aumente sua capacidade de cogeração, a empresa teria que investir na compra de terras para ampliar o cultivo do bambu.

Foi realizada pesquisa no mercado imobiliário na cidade de Santo Amaro e valor médio a vista encontrado foi de R\$ 5.000,00/ha (cinco mil reais por hectare).

Receitas sobre a energia excedente

A receita de energia excedente baseia-se na quantidade de eletricidade cogorada que se pretende vender para a distribuidora local de energia elétrica durante o ano. Segue dados aproximados coletados durante a visita no Grupo Penha.

⁵Dados do Grupo João Santos

Tabela 10 - Receitas obtidas na venda de eletricidade excedente

Item	Valor
Potência do gerador	3,5 MW
Energia Gerada	30660 MWh/ano
Energia Indústria	84 MWh/ano
Energia Excedente	30576 MWh/ano
Preço de venda	R\$ 120 MWh
Receita anual	R\$3.700.000,00

Fonte: Fornecidos pelo Grupo Penha e estimado pelo autor

Horizonte de planejamento

O horizonte de planejamento considerado para este estudo foi de 20 anos, período admitido em função da vida útil dos equipamentos.

Financiamento

Embora não haja nenhuma linha de financiamento dedicada exclusivamente à promoção da cogeração pesquisou-se a existência de linhas de financiamento que tenham potencial de financiar projetos de cogeração de energia. A instituição no Brasil que oferece financiamento para o tipo de empreendimento a ser avaliado nestase a uma taxa de juros relativamente baixa para a realidade brasileira é o Banco Nacional do Desenvolvimento Economico e Social – BNDES. Dentre as linhas de financiamento disponível, linha destinada a Energias Alternativas apóia projetos que visem à diversificação da matriz energética nacional e que contribuam para sua sustentabilidade. Os empreendimentos passíveis de apoio são projetos de bioeletricidade, bioetanol, energia eólica, energia solar e pequenas centrais hidrelétricas. Com taxa de juros de 10,47% ao ano, e o limite de participação do BNDES pode chegar a 90%, caso o projeto utilize caldeira de biomassa como pressão igual ou superior a 60 bar. O prazo máximo de amortização da dívida é de 16 anos.

4.5. Resultados da Avaliação Econômica

Visando estudar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de cogeração utilizando bambu, foi realizado o levantamento estimado do fluxo de caixa referente às operações realizadas desde a etapa de cultivo até a alimentação da caldeira com a biomassa na forma de cavaco.

As tabelas 11 e 12 apresentam os fluxos de caixa referentes às principais operações realizadas nas empresas Penha e João Santos. As tabelas estão divididas de forma a facilitar a análise das etapas separadamente, permitindo realizar comparações entre as diferentes operações realizadas pelas empresas.

Os cenários estudados consideram o horizonte de planejamento em 20 anos, onde as empresas investem em terras agrícolas e mudas, e o pagamento desses é realizado com a receita da venda de energia excedente, que começa a gerar receitas a partir do terceiro ano onde já é possível realizar a primeira colheita.

No caso do sistema de cultivo de biomassa da Penha (tabela 11), depois de colhidos, os colmos são trazidos até uma central de picagem e armazenamento de cavacos, sendo que depois de 20 dias (com umidade de 30%) seguem para abastecer a caldeira. Esse processo faz com que os custos com mão de obra e a logística de transporte envolvida inviabilize o a implantação do sistema considerando os altos custos apresentados.

Tabela 11 – Fluxo de caixa simulado referente ao sistema do Grupo Penha.

Item	Descrição	Investimento Inicial	Anos				
			1	2	3	4	20
	Investimentos						
1	Compra de terras	R\$75.000.000,00					
2	Mudas	R\$60.000.000,00					
	Sistema de Cogeração						
3	Turbina	R\$4.000.000,00					
4	Caldeira	R\$9.000.000,00					
5	Gerador	R\$1.531.000,00					
7	Instalação da turbina e caldeira	R\$425.000,00					
8	Infraestrutura/estacas/obras civis	R\$7.765.000,00					
9	Maquinário Agrícola / Caminhões	R\$7.700.000,00					
	Despesas Operacionais						
	Cultivo						
10	Salários	R\$5.400.000,00	R\$5.400.000,00	R\$5.400.000,00	R\$5.400.000,00	R\$5.400.000,00	R\$5.400.000,00
11	Adubo	R\$770.000,00	R\$770.000,00	R\$770.000,00	R\$770.000,00	R\$770.000,00	R\$770.000,00
12	Calcário	R\$630.000,00	R\$630.000,00	R\$630.000,00	R\$630.000,00	R\$630.000,00	R\$630.000,00
	Picagem						
13	Salários	R\$1.800.000,00	R\$1.800.000,00	R\$1.800.000,00	R\$1.800.000,00	R\$1.800.000,00	R\$1.800.000,00
14	Energia Elétrica	R\$14.000,00	R\$14.000,00	R\$14.000,00	R\$14.000,00	R\$14.000,00	R\$14.000,00
	Transporte						
15	Plantação para Picador (diesel)	R\$130.000,00	R\$130.000,00	R\$130.000,00	R\$130.000,00	R\$130.000,00	R\$130.000,00
16	Picador para Planta Industrial (diesel)	R\$26.000,00	R\$26.000,00	R\$26.000,00	R\$26.000,00	R\$26.000,00	R\$26.000,00
17	Diesel (ônibus)	R\$55.000,00	R\$55.000,00	R\$55.000,00	R\$55.000,00	R\$55.000,00	R\$55.000,00
	TOTAL	R\$174.246.000,00	R\$8.825.000,00	R\$8.825.000,00	R\$8.825.000,00	R\$8.825.000,00	R\$8.825.000,00
	Recelta						
	Venda de excedente		R\$3.700.000,00	R\$3.700.000,00	R\$3.700.000,00	R\$3.700.000,00	R\$3.700.000,00
	Resultado Líquido	-R\$174.246.000,00	-5125000,00	-5125000,00	-5125000,00	-5125000,00	-5125000,00

Tabela 12 – Fluxo de caixa simulado referente ao sistema do Grupo João Santos

Item	Descrição	Investimento Inicial	Anos			
			1	2	3	20
	Investimentos					
1	Compra de terras	R\$ 75.000.000,00				
2	Mudas	R\$ 60.000.000,00				
3	Turbina	R\$ 4.000.000,00				
4	Caldeira	R\$ 9.000.000,00				
5	Gerador	R\$ 1.531.000,00				
7	Instalação da turbina e caldeira	R\$ 425.000,00				
8	Infraestrutura/esteiras/obras civis	R\$ 7.765.000,00				
9	Maquinário Agrícola / Caminhões	R\$ 7.700.000,00				
	Despesas Operacionais					
	Cultivo					
10	Salários	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00
11	Adubo	R\$ 770.000,00	R\$ 770.000,00	R\$ 770.000,00	R\$ 770.000,00	R\$ 770.000,00
12	Calcário	R\$ 630.000,00	R\$ 630.000,00	R\$ 630.000,00	R\$ 630.000,00	R\$ 630.000,00
	Picagem					
	Diesel			R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00
	Transporte					
16	Picador até Planta Industrial (diesel)			R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00
17	Diesel (ônibus)	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00
	TOTAL	R\$ 167.835.000,00	R\$ 2.414.000,00	R\$ 2.528.000,00	R\$ 2.528.000,00	R\$ 2.528.000,00
	Venda de excedente (30660 MWh/ano)				R\$ 3.679.200,00	R\$ 3.679.200,00
	Resultado Líquido	-R\$ 167.835.000,00	-R\$ 2.414.000,00	-R\$ 2.528.000,00	R\$ 1.151.200,00	R\$ 1.151.200,00

Com o objetivo de estudar a influência dos principais investimentos realizados no processo, foi realizada análise econômica considerando a instalação do sistema de cogeração utilizando a infraestrutura existente na Itapagé (João Santos), dessa forma não são considerados os investimentos em caminhões, e maquinários agrícolas. A próxima tabela apresenta os fluxos de caixa correspondentes ao cenário estudado, sendo os investimentos em terras e mudas desconsiderados.

Tabela 13 – Fluxo de caixa simulado referente à implantação de cogeração excluindo mudas e terras (João Santos).

Item	Descrição	Investimento Inicial	Anos			
			1	2	3	20
	Investimentos					
	Sistema de cogeração					
3	Turbina	R\$ 4.000.000,00				
4	Caldeira	R\$ 9.000.000,00				
5	Gerador	R\$ 1.531.000,00				
7	Instalação da turbina e caldeira	R\$ 425.000,00				
8	Infraestrutura/esteiras/obras civis	R\$ 7.765.000,00				
	Despesas Operacionais					
	Cultivo					
10	Salários	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00	R\$ 1.000.000,00
11	Adubo	R\$ 770.000,00	R\$ 770.000,00	R\$ 770.000,00	R\$ 770.000,00	R\$ 770.000,00
12	Calcário	R\$ 630.000,00	R\$ 630.000,00	R\$ 630.000,00	R\$ 630.000,00	R\$ 630.000,00
	Picagem					
	Diesel	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00
	Transporte					
16	Picador para Planta Industrial (diesel)	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00
17	Diesel (ônibus)	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00
	TOTAL	R\$ 25.249.000,00	R\$ 2.528.000,00	R\$ 2.528.000,00	R\$ 2.528.000,00	R\$ 2.528.000,00
	Venda de excedente (30660 MWh)		R\$ 3.679.200,00	R\$ 3.679.200,00	R\$ 3.679.200,00	R\$ 3.679.200,00
	Resultado Líquido	-R\$ 25.249.000,00	R\$ 1.151.200,00	R\$ 1.151.200,00	R\$ 1.151.200,00	R\$ 1.151.200,00

As figuras 33, 34 e 35 apresentam o fluxo de caixa ao longo de 20 anos, referente aos 3 sistemas estudados nesse tópico. Considerando o método de cultivo atual sem investimento em terras e mudas, e preço da energia excedente vendida de acordo com último leilão (120 MWh), as duas primeiras análises econômica (Penha e João Santo) do sistema não apresenta viabilidade de implantação (Payback de 22 anos) como pode ser visto nas tabelas 11 e 12 respectivamente. O horizonte de planejamento considerado de 20 anos, como usual em estudos de projetos de energia, faz com que o sistema não seja viável, pois não apresenta retorno econômico ao investidor no prazo estabelecido.

Figura 33 - Fluxo de caixa da implantação do sistema de cogeração do Grupo Penha

Fluxo de Caixa – Grupo João Santos

Figura 34 - Fluxo de caixa da implantação do sistema de cogeração do Grupo João Santos

Como pode ser visto na figura 34, quando considerado a instalação do sistema de cogeração utilizando a infraestrutura existente nos cultivos do Grupo João Santos o sistema apresenta viabilidade de implantação, sendo o investimento inicial direcionado para a compra dos equipamentos como turbina, gerador, caldeira, etc. Tal investimento, não compromete a viabilidade econômica da implantação do sistema, apresentando receitas maiores que as despesas, devido aos resultados nas vendas de eletricidade excedente.

Fluxo de Caixa – Grupo João Santos – Implantando a Cogeração

Figura 35 - Fluxo de caixa da implantação da cogeração sem investimentos em infraestrutura (Grupo João Santos)

A figura 36 apresenta o estudo comparativo considerando os investimentos nas operações de cultivo da biomassa de bambu realizados pelas empresas Penha e João Santos. Nota-se que no caso de picar a o bambu no pátio, como é caso do sistema da Penha, um incremento de mão de obra é empregado, pois o bambu é carregado na plantação, descarregado não pátio, e novamente carregado pra ser levado na forma de cavaco até a planta industrial. Os investimentos em transportes não variam significativamente, claro que o sistema onde o bambu é picado no pátio gasta mais combustível, mas não inviabiliza o sistema. Diferente da mão de obra empregada, que é relevante e pode inviabilizar a implantação de um sistema de produção em grande escala como estudado nesta tese.

Ainda na figura 36, no caso do sistema de cultivo de biomassa da Penha, depois de colhidos, os colmos são trazidos até uma central de picagem e armazenamento de cavacos e depois de 20 dias seguem para abastecer a caldeira. Esse processo faz com o pagamento de salários seja responsável por boa parte dos custos anuais.

Figura 36 - Variação dos investimentos conforme o sistema de cultivo.

Fonte: Autor

O sistema de cultivo realizado pelo Grupo João Santos, emprega menos mão de obra e transporte se comparado ao grupo Penha. Na figura 36, nota-se que a operação de picagem no pátio faz com que o sistema apresente inviabilidade econômica se for utilizado no sistema de

cogeração aqui estudado. Quando a análise é realizada simulando preços mais altos da energia, o sistema começa a apresentar atratividade, ou seja, VPL e TIR positivas a partir de R\$130,00/MWh. De acordo com indicadores da tabela o payback nesse cenário apresenta viabilidade, sugerindo que o sistema de cogeração com o bambu é viável dependendo dos custos existentes nas operações de cultivo.

Na tabela 14, que o valor da eletricidade vendida tem grande influência no desempenho dos indicadores econômicos, mas vale lembrar que estamos falando de um sistema de cogeração, que por sua vez fornece vapor para o processo e ainda gera eletricidade.

Tabela 14 – Variação dos indicadores econômicos com variação do preço da energia

Preço da Energia (MWh)	VPL	TIR	Payback
R\$ 120,00	<1	-	22
R\$ 130,00	>1	2%	17
R\$ 140,00	>1	4%	14
R\$ 150,00	>1	5%	12
R\$ 200,00	>1	13%	7

Fonte: Autor

4.6. Balanço Energético da Utilização de Bambu em Sistema de Cogeração de Eletricidade

A comunidade científica internacional vem demonstrando haver uma correlação positiva entre o aumento da concentração de gases causadores do efeito estufa (GEE) e o aumento médio da temperatura do planeta. A queima de combustíveis líquidos fósseis em motores de combustão interna é uma das principais fontes causadoras desse aumento, pois nela são liberados GEE para a atmosfera, principalmente o gás carbônico, fato que tem sido motivo de crescente preocupação em nível mundial.

Considerando combustíveis derivados de biomassa renovável, como é caso da biomassa de bambu, a quantidade de dióxido de carbono emitida na combustão é mitigada pela absorção deste gás através da fotossíntese no crescimento da plantação, desde o plantio até a colheita.

Entretanto, tanto na produção da biomassa quanto da eletricidade produzida pelo sistema de cogeração, são consumidos substâncias e materiais que utilizaram recursos fósseis nas suas etapas de extração, produção e transporte até o ponto de consumo.

A produção e uso final da energia proveniente da biomassa de bambu foram realizados relacionando as principais operações com casa insumo (input), visando quantificar a energia gasta em cada etapa de produção e das suas correspondentes emissões, comparando os resultados com o conteúdo energético disponibilizado para o uso final do produto (output), nesse caso, eletricidade, sendo o escopo utilizado nesse estudo representado na figura 31.

A tabela 15 relaciona os principais insumos empregados na utilização da biomassa de bambu para fins energéticos considerando a implantação de um sistema de cogeração de eletricidade.

Tabela 15 - Balanço energético da cogeração de eletricidade utilizando bambu

Item	Descrição	Unid.	*Valor (unid./ha)	MJ/unid	Consumo Energético (MJ/ha)	%
Entrada de Energia						
Fase Agrícola						
1	Maquinário Agrícola					
	Aço	kg	180000	17,38	3,13E+06	21
	Plástico	kg	45000	1,93	8,69E+04	1
2	Adubo		7000	55	3,85E+05	3
3	Calcário	t	21000	1,67	3,51E+04	
4	Diesel	kg	220000	50,4	1,11E+07	75
Fase Industrial (cogeração)						
5	Infraestrutura/esteiras Turbina/ Caldeira				6,03E+00	
	Total de Entradas				1,47E+07	100
	Saídas de Energia (eletricidade)				1,10E+08	
	Balanço Energético (Saída/Entrada)				7,5	

* Valores de (unid./ha): PELLIZZI (1992)

De acordo com os resultados da tabela 15, os insumos mais significativos utilizados na operação da cogeração de eletricidade com bambu é o diesel (75%) e o aço (21%). O uso do picador a diesel consome 30 litros/hora, trabalhando 20 horas por dia, contribuindo com aproximadamente 200 mil litros por ano no sistema.

4.7. Aspectos ambientais da cogeração de eletricidade utilizando bambu

Sabendo que a biomassa poderá se tornar parte integrante da economia moderna de energia em larga escala, é notória a crescente preocupação com os impactos socioambientais que esses tipos de empreendimentos podem causar. Diversas iniciativas reconhecem há algum tempo que se a biomassa vier a desempenhar um papel decisivo nas futuras políticas energéticas, a sua produção, conversão e uso deverão ser ambientalmente aceitáveis. Diante desse cenário, essa tese tem o objetivo de estudar os aspectos ambientais que envolvem a exploração de extensos cultivos de bambu no Brasil.

Um sistema sustentável de produção e do uso da biomassa depende das ações adotadas em todas as etapas do processo, desde o campo até o uso final. No caso específico da utilização de biomassa de bambu em sistema de cogeração, algumas vantagens podem ser relacionadas com conceito de sustentabilidade, que está diretamente ligado aos aspectos ambientais que envolvem o sistema, afinal o uso de recursos, tanto ambientais como materiais são contabilizados na produção do combustível (nesse caso o cavaco de bambu).

Pelo fato de ser uma planta perene, não será necessário replantio, a colheita é feita realizando o corte raso da moita a cada 3 anos. O fato de não replantar o bambu novamente garante ao solo a presença de nutrientes que seriam perdidos caso houvesse a preparação da terra em ciclos determinados devidos a erosão causada pelo uso de maquinários e retirada de raízes antigas, como é caso do eucalipto, replantado a cada 20 anos aproximadamente dependendo da espécie.

No mundo, as florestas plantadas sempre estiveram na mira de discussões acaloradas, relacionadas principalmente com seus possíveis efeitos sobre os recursos hídricos, como resultado da percepção genérica de um consumo exagerado de água. De acordo com pesquisa realizada em literatura, não foram encontradas publicações referentes à implantação de cultivos com de bambu e problemas hídricos.

5. BARREIRAS NA UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO COMBUSTÍVEL

Com o objetivo de identificar as principais barreiras enfrentadas atualmente na cadeia produtiva do bambu em larga escala no Brasil, em 2011 foi realizada a visita técnica nas duas maiores empresas brasileiras que exploram a biomassa de bambu em seus processos industriais, O Grupo João Santo e o Grupo Penha.

O Grupo Penha, está localizado no estado da Bahia, explora aproximadamente 3 mil hectares de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, utiliza a biomassa na forma de cavaco para abastecer uma caldeira que por sua vez fornece vapor para o processo de reciclagem de papel na unidade industrial de Santo Amaro, cidade localizada a 90 km de Salvador.

O Grupo João Santos explora atualmente a maior plantação comercial do Mundo de bambu, são aproximadamente 30 mil hectares de *Bambusa vulgaris*, utilizada como insumo para a fabricação de papel e celulose.

Com base nas informações coletadas durante as visitas e considerando as particularidades dos processos de cada empresa, foi possível identificar diferenças no que se refere a transformação da biomassa de bambu em cavaco. O resultado dessa comparação é que existem aspectos que parecem estar consolidados quando considerado a exploração do bambu em grande escala com a produção voltada a biomassa, como é caso de algumas atividades de manejo, como: ciclo de corte, espaçamento entre as moitas, produtividade, entre outros. No entanto, existem barreiras que ainda impedem as empresas do setor privado a realizarem investimentos visando aumentar as áreas de plantio e consequentemente estimular a cadeia produtiva em grande escala de bambu no Brasil.

Barreiras Tecnológicas

Disponibilidade de Mudas

Atualmente, a obtenção de mudas de bambu para extensos plantios ainda é um problema.

Em um hectare de bambu, dependendo do espaçamento adotado são utilizadas aproximadamente 408 mudas. Número relativamente alto quando considerado o método de propagação vegetativa, que utiliza ramos da própria planta para gerar novas moitas.

No sentido de explorar esse mercado, pequenos produtores pelo Brasil vendem mudas de

várias espécies, mas quando a quantidade é em larga escala, o problema aparece como um entrave para a implantação de novos cultivos.

Quantidade de cinzas na caldeira durante a queima

A utilização do bambu como insumo energético produz grande quantidade de cinzas, que na caldeira tende a sofrer um processo de sinterização, criando uma crosta, que isola a parede da caldeira tornando-a menos eficiente na transferência térmica. A geração de cinzas no processo de queima desta biomassa em especial, é consideravelmente elevada se comparada com outras biomassas que não sejam gramíneas. Conforme Brito et al. (1987), que comparando o teor de cinzas de *Bambusa vulgaris* com *Eucalyptus urophylla* (hibr.), encontraram um teor sete vezes maior para o bambu.

Picadores de Biomassa

Uma questão levantada, tanto pelas empresas (Penha e João Santos), como por especialistas do setor, é com relação a dificuldade de obtenção de cavacos em comparação com a madeira. Como já discutido por Azzini (1982), os conhecimentos tecnológicos desenvolvidos para as madeiras dificilmente se adaptam adequadamente quando aplicados ao bambu, simplesmente por se tratar de matérias primas totalmente diversas em seus aspectos anatômicos químicos e físicos. Essa discussão reflete muito bem a necessidade de conhecimentos tecnológicos específicos para o processamento do bambu, pois o problema não é da matéria prima a sim do picador que não é adequado para picar o colmo de bambu, que por ser oco, reduz a durabilidade das facas do picador. O tempo de duração do corte das facas dos picadores usuais quando usados para picar bambu é a quarta parte do tempo de uso para cortar madeira. Para o bambu são necessários picadores especialmente preparados. O consumo de energia é de 6 a 7 kWh/tonelada de cavacos⁶.

Florescimento e morte da plantação

A floração do bambu é um evento ainda misterioso, mas muitas vezes fatal para a própria planta. Este fato decorre do desvio de toda a atenção e esforço da planta para o florescimento,

⁶ Dados fornecidos pelo Grupo João Santos

retirando as reservas contidas nos rizomas. A planta para de produzir folhas, e pode vir a desgastar-se até a morte.

A identificação das espécies é feita através da coleta de flores, o plantio de sementes e a observação dos resultados. É por essa razão que a identificação exata das espécies de bambu é tão complicada. Uma geração inteira pode passar sem que um determinado bambu tenha florescido.

Estudos agronômicos com bambu

Os motivos para a existência de dados diferentes em cada levantamento segundo alguns autores são:

- Taxonomia dos bambus ainda é pouco compreendida; pouca atualização de dados de muitas espécies (SCURLOCK et al., 2000);
- É necessário incluir os bambus em inventários florestais. A exclusão pode estar associada à dificuldade em se delimitar o indivíduo, assim como ao número excessivo de colmos a serem medidos.
- Outra razão para dificuldade de identificação dos bambus, apontada por Freire e Beraldo (2003), é que a maioria dos bambus floresce em períodos muito longos, 30, 60, 90, 100 ou mais anos, e as flores e os frutos são essenciais para a sua classificação. Assim, o número de espécies conhecidas de bambus é ainda hoje objeto de discussões.

Apesar da vasta utilização do bambu em cultivos florestais, a literatura ainda é bastante escassa no que se refere às necessidades nutricionais. Um estudo detalhado sobre as necessidades nutricionais do bambu é necessário para dar suporte a um programa de adubação que assegure retorno financeiro ao produtor, assim como sugerido por Oliveira et. al (2008).

Transporte

O Grupo João Santos pica a biomassa na própria plantação e transporta o cavaco já picado até a unidade industrial. Já o Grupo Penha, leva os colmos cortados, que em seguida serão

picados em uma central (pátio) localizada nas proximidades da unidade industrial. Conforme demanda, o cavaco segue transportado em caminhões para abastecer a caldeira.

Nota-se que no caso de cultivo para fins energéticos, o ideal seria que o bambu fosse picado na própria plantação, evitando etapa de transporte da biomassa até a central de picagem. No entanto, essa operação depende do relevo onde a plantação está localizada. Em áreas planas como em algumas plantações do Grupo João Santos, é perfeitamente possível o acesso dos caminhões até os picadores móveis localizados na plantação, seguindo já na forma de cavaco para a unidade industrial. Já o Grupo Penha cultiva o bambu em região de relevo acidentado, o que dificulta o acesso de maquinários pesados, como os picadores e caminhões.

O fato é que o transporte do bambu na forma de colmos é prejudicado pelo volume oculto existente no interior dos colmos que aumenta o número de viagens necessárias para a obtenção da biomassa na forma de cavaco.

Barreiras Políticas e Institucionais

A utilização da biomassa de bambu como fonte de energia é sem dúvida a alternativa que contempla a vocação natural do Brasil. Entretanto, apesar de seu comprovado potencial, a biomassa não recebe dos governos a atenção necessária na concepção da matriz energética brasileira.

A cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil sofreria os mesmos problemas apresentado pelo setor, onde atualmente o sistema hidrelétrico Nacional novamente apresenta níveis baixos em seus reservatórios e o planejamento do setor acena com termelétricas a combustíveis fósseis, até mesmo carvão mineral, e a biomassa nem sequer é considerada como uma opção. Nos próximos leilões de energia, a bioeletricidade deve competir com a energia eólica incentivada e com carvão mineral.

6. POLÍTICAS DE INCENTIVO AO USO DO BAMBU NO BRASIL

Um dos marcos no desenvolvimento da cadeia produtiva no Brasil é sem dúvida a Lei que institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB), assinada em 2011. Com essa iniciativa, um novo conceito para a gramínea foi estabelecido, passando a ser tratada como produto agrícola e contará com linhas de financiamento diferenciadas. Receberão incentivos do governo, agricultores e familiares que investirem na atividade de cultivo e manejo sustentável de espécies nativas de bambu.

A Lei também fomentará ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológico com a cultura, promovendo iniciativas voltadas para a assistência técnica, certificação, parcerias e comércio nas seguintes questões:

- Manejo sustentado das formações nativas;
- Cultivo de bambu voltado para a produção de colmos e brotos;
- Obtenção de serviços ambientais;
- Valorização do ativo ambiental (bambu) como instrumento de promoção de desenvolvimento socioeconômico regional.

Com base nas diretrizes da PNMCB, o objetivo principal é promover o desenvolvimento tecnológico do manejo sustentado, cultivo e aplicações do bambu. Para tanto, serão criados pólos de manejo sustentado e de beneficiamento de bambu, em especial nas regiões de maior ocorrência de estoques naturais dessa gramínea. Nesse sentido, serão priorizadas as regiões agrícolas onde a produção se baseia em unidades familiares em torno de tecnologias aplicáveis a utilização do bambu.

A execução das ações previstas na Lei conta com crédito rural diferenciado e assistência técnica durante o ciclo produtivo da cultura

Na implementação da Política, cabe aos órgãos competentes:

- I - Incentivar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico voltado para o manejo sustentado, cultivo, serviços ambientais e as aplicações dos produtos e subprodutos do bambu;
- II - Orientar o cultivo para a produção e a extração de brotos para a alimentação;

- III - Incentivar o cultivo e a utilização do bambu pela agricultura familiar;
- IV - Estabelecer parcerias com entidades públicas e privadas para maximizar a produção e a comercialização dos produtos;
- V - Estimular o comércio interno e externo de bambu e de seus subprodutos;
- VI - incentivar o intercâmbio com instituições congêneres nacionais e internacionais.

Reconhecendo a importância da cooperação bilateral no campo da ciência, em abril de 2011, Brasil e China firmaram o Acordo de Cooperação em Ciência e Tecnologia visando o intercâmbio de informações sobre a cadeia produtiva do bambu em ambos os países.

Considerando especialmente o interesse comum em estimular pesquisas em áreas estratégicas de mútuo interesse, como é o caso do bambu, os países têm como objetivo promover o desenvolvimento desse setor, apoiando projetos de pesquisa e produção para o desenvolvimento sustentável.

O acordo visa promover avanços em ciência, tecnologia, inovação especialmente em áreas estratégicas de interesse mútuo, tais como:

- a) Ciências agrícolas e tecnologia – botânica, produção de mudas, brotos, clones, carvão ativo ou não, ácido pirolenhoso e subprodutos;
- b) Tecnologia industrial – tratamento e preservação, máquinas e equipamentos, e produtos laminados;
- c) Tecnologia de valor agregado – construção, arquitetura, design, artesanato e decoração.

As atividades de cooperação podem incluir diversas modalidades, entre elas:

- Organização de missões interdisciplinares de especialistas brasileiros na área de bambu para a China, visando iniciar um programa de trabalho bilateral com recomendações para a implementação da cooperação;
- Organização de arranjos e workshops sobre temas previamente acordados pelos Participantes;
- Organização de seminários, congressos, conferências e oficinas em temas de interesse comum;
- Organização de reuniões para Participantes do Brasil e da China, para avaliação conjunta de oportunidades de cooperação;
- Intercâmbio de cientistas e técnicos, e capacitação de jovens cientistas;
- Intercâmbio e compartilhamento de equipamentos e materiais de pesquisa;

- Troca de informações, excluídas informações confidenciais que as Partes não são livres para divulgar;
- Projetos conjuntos de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Rede Brasileira do Bambu – RBB

A Rede Brasileira do Bambu - RBB foi criada em 2006, visa inserir o bambu no cenário brasileiro compartilhando conhecimento por meio de pesquisas financiadas por instituições públicas de pesquisa como FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária).

A RBB é uma rede nacional de pesquisa e desenvolvimento tecnológico integrada por pesquisadores, técnicos e profissionais de Universidades, Institutos de Pesquisa, entre outras organizações, que representa uma nova modalidade de trabalho, pois congrega o esforço de diferentes especialistas, mostrando-se um modelo interessante de se compartilhar conhecimento, ainda mais se tratando de uma cultura ainda em desenvolvimento, como é o caso do Bambu.

O grande mérito desse modelo é que não há especialista ou instituição que detenha o conhecimento em sua integridade e abrangência.

Estruturação da Rede Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu-RBB

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) lança chamada pública que seleciona projetos voltados à estruturação da Rede Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu. A chamada MCTI/Ação Transversal/CNPq n.º 66/2013 terá financiamento no valor de R\$ 6 milhões provenientes do Fundo Setorial Ação Transversal.

O objetivo desta chamada é estruturar a Rede Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu de forma a atender às demandas tecnológicas relativas à implementação da Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e Plantio do Bambu – PNMCB, de acordo com a Lei 12.484/2011.

LINHA TEMÁTICA: Gargalos no Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Bambu

- a) Identificação de espécies nativas e exóticas;
- b) Propagação de espécies de bambu;
- c) Propagação e cultivo de bambus de clima temperado;
- d) Produção de concreto reforçado, carvão ativado e BLC (“plyboo”);
- e) Plantio em larga escala para biomassa e celulose;
- f) Produção e industrialização de broto de bambu;
- g) Cultivo de bambu tropical e uso no paisagismo;
- h) Aplicação estrutural do bambu;
- i) Manejo sustentável da floresta de *Guádua* sp.;
- j) Identificação das espécies de maior potencial econômico;
- k) Demonstração de tecnologias para aproveitamento energético do bambu;
- l) Aplicação de bambu para recuperação de terras degradadas;
- m) Estratégias para introdução da cultura do bambu na agricultura familiar;
- n) Transferência tecnológica em produção e plantio de mudas;
- o) Introdução de novas espécies de bambu no Brasil;
- p) Utilização de bambu para materiais compósitos de alto desempenho;
- q) Produção de insumos para indústria de cosméticos e alimentos.

Financiamento

Em termos de financiamento, o BNDES tem buscado políticas para estimular o investimento em sistemas mais eficientes de cogeração. De acordo com as condições atuais de financiamento, projetos de cogeração de energia que utilizem caldeira de biomassa com pressão igual ou superior a 60 bar poderão obter um patamar de até 90% dos itens financiáveis. A modernização das plantas antigas leva ao atendimento de suas necessidades energéticas e, ao mesmo tempo, permite gerar excedentes de energia elétrica que são comercializados, permitindo a diversificação das fontes de receita e a garantia de um fluxo de caixa estável.

7. CONCLUSÃO

O cultivo de bambu em grande escala voltado a fins energéticos no Brasil foi estudado com foco nos aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Além de renovável, o aproveitamento energético e racional da biomassa de bambu tende a promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente, por meio da criação de empregos e da geração de receita, reduzindo o problema, o êxodo rural e a dependência externa de energia em função da sua disponibilidade local.

O Brasil apresenta características positivas para o desenvolvimento da cultura de bambu em larga escala. Por sua situação geográfica, o país recebe intensa radiação solar ao longo do ano, o que é a fonte de energia fundamental para a produção de biomassa, quer seja para alimentação ou para fins agroindustriais. Outro aspecto importante é que possuímos grande quantidade de terra agricultável, com boas características de solo e condições climáticas favoráveis.

Para que as plantações de biomassa desempenhem um importante papel na economia energética mundial são necessárias estratégias para se alcançar e manter elevadas as produtividades em grandes áreas plantadas, durante longos períodos. Em se tratando de uma biomassa que ainda busca espaço como uma opção energética, o bambu apresenta características positivas quando comparados a sistemas de produção de energia já consolidados e utilizados no País como é o caso do eucalipto e pinus.

O valor do poder calorífico inferior (PCI) médio calculado nessa tese por meio de experimentos em laboratório (3.600 kcal/kg), indica que a biomassa de bambu apresenta potencial para ser utilizado em sistema de geração de energia.

Com base nas metodologias utilizadas nesse tese, atualmente as 2 maiores empresas que exploram biomassa de bambu em maior escala no País (Penha e João Santos) não apresentam viabilidade econômica de implantação considerando as características de seus atuais processos, pois seus cultivos apresentam alta demanda de mão de obra e transporte. Nesse contexto, nota-se a necessidade de se desenvolver maquinário e equipamentos específicos para cultivo da biomassa de bambu voltado a fins energéticos. Esse tipo de cultivo apresentaria viabilidade econômica se as operações de corte e picagem fossem mecanizados e ocorressem na própria plantação, algo que as empresas ainda não possuem.

A disponibilidade de mudas ofertadas por produtores nacionais ainda não é suficiente para abastecer a demanda nacional considerando a implantação de extensos cultivos voltados à exploração de biomassa. Hoje as mudas são produzidas por meio de propagação vegetativa (galhos e ramos são enterrados em sacos especiais com material orgânico), o que além de apresentar alto custo, ainda leva em média 3 meses pra estar em condições de ser plantada. Considerando este aspecto, o setor carece de desenvolvimento de tecnologias voltadas a produção de mudas em grande escala.

A floração espontânea do bambuzal é uma característica importante a ser considerada quando projetamos a exploração de extensas plantações. O fato é que no sistema estudado por essa tese, a moita é colhida por meio de corte raso realizado a cada 3 anos e caso esse fenômeno venha a ocorrer, o sistema não apresentará problemas de oferta de bambu, muito pelo contrário, milhares de sementes estarão disponíveis na plantação e poderão ser utilizadas para formar novas mudas, sendo que a biomassa das plantas que morreram ainda alimentarão a caldeira normalmente.

O balanço energético do sistema de cogeração utilizando biomassa de bambu apresenta o diesel como o insumo mais significativo utilizado no processo (75%). Esse tipo de informação é de grande utilidade, pois a partir desse resultado é possível desenvolver melhorias no processo visando deixar o sistema mais sustentável atuando diretamente nas variáveis mais impactantes apresentadas no estudo do sistema.

As principais barreiras existentes para a disseminação do cultivo de bambu voltado fins energéticos são de ordem econômica, pois as tecnologias empregadas são relativamente novas, sendo em grande parte realizada manualmente. Contudo, para que esta barreira possa ser superada é preciso suporte governamental e investimentos em tecnologia, para que possam alcançar ganhos de escala e se tornem economicamente competitivas.

Com relação à questão social, como a maior parte da biomassa é produzida na zona rural, isto faz com que haja uma importante fixação e geração de empregos nessas regiões, principalmente para pessoas com baixa escolaridade, o que evita o deslocamento populacional para áreas urbanas e possível ingresso na marginalidade posteriormente.

Nos últimos anos o governo brasileiro vem acenando com iniciativas e incentivos ao desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu. Nos últimos anos foram criados incentivos e estímulos direcionados ao setor: a Lei que institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (2011), a Rede Brasileira do Bambu (2006), visa inserir o bambu no cenário brasileiro compartilhando conhecimento

por meio de pesquisas financiadas. Deve-se lembrar de que uma iniciativa similar, na década de 1960, estimulou o plantio do eucalipto e do pinus no território nacional. E hoje os produtos à base dessas duas madeiras respondem por substancial parcela no agronegócio brasileiro, empregando milhares de pessoas.

Similar à madeira, o bambu é um material natural, resistente, renovável e adaptado ao clima brasileiro. Sua biomassa pode ser empregada na cogeração de eletricidade, possibilitando a venda de energia excedente para a distribuidora local. No entanto, para que as potencialidades da biomassa de bambu voltada a fins energéticos sejam devidamente aproveitadas, é preciso que os planejadores do setor energético reconheçam a sua importância como vetor de desenvolvimento regional e sustentável.

O Brasil, por possuir condições naturais e geográficas favoráveis à produção de biomassa, considerando esse fator, o país pode assumir posição de destaque no cenário mundial na produção e no uso da biomassa de bambu como recurso energético.

8. BIBLIOGRAFIA

Aguiar, C. M., & Rousset, P. L. (2010). Importância do processo de torrefação para condicionamento da biomassa do bambu para gaseificação. II Seminário Nacional do Bambu (pp. 72 - 82). Rio Branco - AC: CPAB - Universidade de Brasília.

ANEEL; Atlas de Energia Elétrica no Brasil. Brasília. ANEEL. 2ª Edição. 2005.

ANSELMO FILHO, P.; BADR, O. Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil. *Applied Energy* 77, p. 51-67. 2004.

AZZINI, A., et al. Produção conjunta de fibras celulósicas e etanol a partir do bambu. *Bragantia*, 1987, vol.46, no.1, p.17-25. ISSN 0006-8705.

AZZINI, A., SALGADO, L.A., 1981. Possibilidades agrícolas e industriais do bambu. *O Agrônomo*, 33, 61- 80.

AZZINI, A.; ARRUDA, M.C.Q.; CIARAMELLO, D.; SALGADO, A.L.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Produção conjunta de fibras celulósicas e etanol a partir do bambu. *Bragantia* 46(1), p. 17-25. 1987.

BEN - Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012 / Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – Rio de Janeiro. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; GHAVAMI, K. e PEREIRA, M. A. R. Bambu: características e aplicações. In: Wesley Jorge Freire; Antonio Ludovico Beraldo. (Org.). *Tecnologias e materiais alternativos de construção*. Campinas: Editora da Unicamp, 2003, p. 253-299.

BONILLA, S. H.; GUARNETTI, R. L.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and, space. *Journal of Cleaner Production*. Article in Press. p. 1-9. 2009.

BRACELPA (Associação Brasileira de Celulose e Papel). Disponível em: <www.bracelpa.org.br>. Acesso em: 01/10/2013.

Brito, J. O., Tomazello Filho, M., & Salgado, A. L. (Agosto de 1987). Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. *Revista IPEF (Atual Scientia Forestalis)*, 36, 13-17.

Brown M. T.; Ulgiati S., 2002. Emergy Evaluations and Environmental Loading of Electricity Production Systems. *J. Cleaner Prod*, 10, p. 321-334.

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: FGV, 1987.

CAMIOTO, F. C. (2010). O uso de fontes limpas de energia na indústria paulista: um estudo envolvendo a técnica do incidente crítico e a análise conjunta. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos.

CARDOSO, Simone de Aviz, SILVA, Ivete Texeira da, ROCHA, Brígida Ramati Pereira et al. Utilização de resíduos de cacau para a produção de energia no Estado do Pará.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Proceedings on line Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200066&lng=en&nrm=abn> Acesso em 07 Oct. 2013.

CENBIO - CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. 2002. Estado da Arte da Gaseificação. São Paulo, Centro Nacional de Referência em Biomassa. Setembro de 2002.

CHINA NATIONAL BAMBOO RESEARCH CENTER (CNBRC). Cultivation & integrated utilization on bamboo in China. CBRC, Hangzhou, China. 2001.

COELHO, S. T; SILVA, O. C.; CONSÍGLIO, M.; PISETTA, M.; MONTEIRO, M. B. C. A. Panorama do potencial de biomassa no Brasil – Projeto BRA/00/029 – Capacitação do setor elétrico brasileiro em relação à mudança global do clima. Brasília, DF: ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002. 80 p.

COELHO, S.T. Biofuels - Advantages and Trade Barriers - Background Paper to the Expert Meeting for Sectoral Trade Review of Developing Country Participation in New and Dynamic Sectors Session on Biofuels - Genebra, Fevereiro, 2005.

COELHO, S.T. Mecanismos para Implementação da Cogeração de Eletricidade a Partir de Biomassa. Um modelo para o Estado de São Paulo. (Tese de Doutorado). PIPGE - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 1999.

CORTEZ, C. L. ; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. ; COELHO, S. T. ; MOREIRA, J. R. ; AMENDOLA, F. C. B. ; GAVIOLI, F. . Análise do processo produtivo do eucalipto no

sistema "short rotation" para uso como combustível em uma usina termoeletrica. In: IV Congresso Internacional de Bioenergia, 2009, Curitiba. IV Congresso Internacional de Bioenergia, 2009.

COSTA, T.M.S., Estudo de viabilidade técnica do emprego do bambu da espécie bambusa vulgaris schard na produção de carvão vegetal. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

DALLAGNOL, F.S. Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR). Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal), Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

DIVER, S. 2001. Bamboo. A Multi-purpose Agroforestry Crop. Current Topic. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA), August 2001. 13 p.

ESPIRITO SANTO, F.B.; SILVA, B.S.G; SHIMABOKURO, Y.E. Detecção da dinâmica da floresta de bambu no sudoeste do Acre com uso de processamento digital de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, Belo Horizonte, 2003. Anais. Belo Horizonte, INPE, p. 649-656.

FIALHO, Edmilson G.; SILVA, Alejandro P.; TONHOLO, Josealdo. Desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu: uma oportunidade para empreender. In: XI Simposio Latino-Iberoamericano de Gestion Tecnológica - ALTEC, 2005, Salvador. Anais do XI ALTEC: ALTEC- PGT/USP, 2005. v. 1. p. 1-10

FILGUEIRAS, T. S., 1998. Bambus nativos do Distrito Federal, Brasil (gramineae: bambusoideae). Revista Brasil. Bot. 11:47 – 66. Citado em: Teixeira, A. A., 2006. Painéis de Bambu para Habitações Econômicas: Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, DF, 179p.

FILGUEIRAS, T.; GONÇALVES, A. P. S.A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society v. 18, n. 1, p. 7-18, 2004. Disponível em: <www.americanbamboo.org/ABSJournalArchive/index.html>. Acesso em: 22.02.2008.

FILHO, A.V. (2013) Energia Elétrica no Brasil: Contexto Atual e Perspectivas; Revista Interesse nacional; Ano 6 - número 2, abril-junho 2013

FREIRE, W.J.; BERALDO, A.L. Tecnologias e materiais alternativos de construção. Campinas: Ed. da UNICAMP, 2003. 319 p.

GOLDEMBERG, J. The Promise of Clean Energy. *Energy Policy*, vol. 34, issue 15, pages 2185-2190, 2005.

Goldemberg, J.; Coelho, S.T. Cogeração com biomassa: desnecessária?; Edição de Janeiro de 2013; Revista Opiniões; São Paulo; Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia.php?id=1143>; Acessado em 10 de outubro de 2013.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, v.21, n.59, p.7-20, 2007.

GOLDEMBERG, J.; TEIXEIRA COELHO, S.; LUCON, O. How adequate policies can push renewables. *Energy Policy*, v.32, n.9, p.1141-6, 2003.

GUARDABASSI, P. M. Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia: perspectivas para países em desenvolvimento. 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado em Energia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GUARNETTI, R. L. Estudo da sustentabilidade ambiental do cultivo comercial do bambu gigante: produção de brotos e colmos. 288 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Paulista-UNIP. 2007.

GUO, S.; HEIJNESSON-HULTEN, A.; BASTA, J.; WANG, Q.; GERMGARD, U.; Cozimento kraft ótimo de bambu - a influência das condições de cozimento nas propriedades da celulose e das fibras; Artigo Técnico; Revista O Papel Julho de 2008. Disponível em: http://www.revistaopapel.org.br/edicoes_impresas/31.pdf Acessado em: 05/10/2013

HALL, D.O.; HOUSE, J. I.; SCRASE, I. Visão geral de energia e biomassa. In ROSILLO-CALE, BAJAY E ROTHMAN. “Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira”. Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2005

HIDALGO LOPEZ, O. *Bamboo the gift of the gods*. Bogotá. 2003, 553 p.

HSIUNG, W. Prospects for bamboo development in the world. In : IBC 88, 1988, Prafance. <http://www.camara.gov.br/sileg/integras/574547.pdf>

HUGOT, E. Manual da engenharia açucareira. Volume I e II. São Paulo: Mestre Jou, 1977.

IEA – International Energy Agency; CO2 Emissions From Fuel Combustion Highlights 2013; Edition: 2013, 158 pages; Disponível em:

www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2013.pdf

INBAR - International Network for Bamboo and Rattan. Bamboo: a new approach to carbon credits; Disponível em: <http://www.inbar.int/2012/11/bamboo-a-new-approach-to-carbon-credits-2/> acesso em 31/01/20013

JANSSEN, J.J.A., 1988. Building with bamboo. London: Intermediate Technology Publications.

JUDZIEWICZ, E.J. et al. American bamboos. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press. 1999. 392 p.

KAREKESI et al., 2005 Status of Biomass Energy in Developing Countries and Prospects for International Collaboration. In GFSE-5 Enhancing International Cooperation on Biomass. Background Paper. Áustria, Maio 2005.

KLEINLEIN, W. A. (2010). Caracterização Energética de Biomassas Amazônicas. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação Strictu Sensu em Engenharia Mecânica – Belém, 64p.

LÍESE, W. Bamboos: Biology, silvics, properties, utilization, Eschborn, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1985, p. 51-52 e 72-74.

LIESE, W., Bamboos - Biology, silvies, properties, utilization. Eschborn, dt.Ges.fur.Techn. Zusammnarbeit (GTZ). 1985 , 132p.

LOPEZ, O.H, Bambu - su cuhivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, Arquitetura, Ingeniería, Artesanic Colombia, Estudos Técnicos Colombianos Ltda, 1974, p.41.

MACHADO, A.; SANTILLI, J.; MAGALHÃES, R. A agro biodiversidade com enfoque agroecológico: implicações conceituais e jurídicas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.98p.

MAOYI, F. Bamboo forestry research. Hangzhou: CBRC - China National Bamboo Research Center, Hangzhou, 2004.

MAS - ASSOCIACÃO MINEIRA DE SILVICULTURA -. Anuário. [08.09.2004]. (<http://www.silviminas.com.br/anuario.htm>).

MATOS JUNIOR, S. M. S. Bambus como recurso florestal: suas aplicações, manejo, silvicultura, propagação, entomologia e a situação no DF. 2004. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

Midmore, D.J., 1998. Bamboo for Shoots and Timber. RIRDC Publication No 98/20. Canberra, Australia.

MOIZÉS, F. A. Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru – SP, 2007.

MOREIRA, A.C.O. (2012). Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl. var. *vulgaris*, e dos Resíduos de Caldeira no Processo de Conversão Térmica de Energia. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-188/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 72p.

NETTO, G. L; GIANNETTI, B. F. Contabilidade dos fluxos de CO₂ em uma Plantação Comercial de Bambu Visando a Produção Papeleira; International Workshop Advances in Cleaner Production, 2009.

NMBA. Processing bamboo shoots. Training manual. New Delhi, India. 2004. 27 p.

NUNES, A.R.S. Construindo com a natureza. Bambu: uma alternativa de eco desenvolvimento. 2005. 142p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe.

ODUM, H.T., 1996. Environmental accounting: Emergy and environmental decision making, Ed. John Wiley & Sons. p.370.

OHRNBERGER, PIETER. 1999. The bamboos of the world: Annotated nomenclature and literature of the species and the higher and lower taxa. Elsevier, Amsterdam. 585 p.

OLIVEIRA, DAGMAR ALVES DE; BEZERRA NETO, E.; NASCIMENTO, C.W.A. DO ; FERNANDES, M. B. ; SILVA, TEREZA CRISTINA DA ; OLIVEIRA, R.A. DE . Alocação de biomassa em plantas de bambu em resposta a adubação mineral. Scientia Agraria (UFPR), v. 9, p. 139-146, 2008.

OSTAPIV, F. & FAGUNDES, E. D. Perspectivas para o desenvolvimento da cultura e da cadeia produtiva do bambu no Paraná, tendo como referência a inovação, a educação tecnológica e o modelo produtivo chinês. ATHENA • Revista Científica de Educação, v. 9, n. 9, jul./dez. 2007.

OSTAPIV, F.; SALAMON, C.; GONÇALVES, M. T. T. Cursos Tecnológicos de bambu Guadua no Acre – Perspectivas Sustentáveis e Inovadoras. ATHENA • Revista Científica de Educação, v. 10, n. 10, jan./jun. 2008.

PELLIZZI, G. Use of Energy and Labour in Italian Agriculture. *Journal of Agriculture and Engineering Resources* 52, p. 111-119. 1992.

PEREIRA, M. A. dos R. Características hidráulicas de tubos de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*). Tese de Doutorado. Unesp, Faculdade de Ciências Agrônômicas. 1997 a. p.161.

PEREIRA, M. DOS R. Bambu: Espécies, Características e Aplicações. Departamento de Engenharia Mecânica/Unesp. Apostila. Bauru. 2001.

PEREIRA, M.A.D.R.; BERALDO, A.L. Bambu de corpo e alma. Bauru: Canal 6, 2007. 235 p.

PEREIRA, M.A.R., GARBINO, L.V., 2003. Projeto bambu: desenvolvimento do bambu gigante (*dendrocalamus giganteus*) na Unesp/campus de Bauru–S.P., com vistas à sua utilização na engenharia agrícola. XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Conbea, Salvador. Pesquisado em 30/09/10 as 17:00hr.

PIOTTO, Z. C. (2003). Eco eficiência na indústria de Celulose e Papel: estudo de caso. Tese de Doutorado em Engenharia (p. 357). São Paulo: Escola Politécnica.

PNF.2005.I Reunião de Avaliação e Perspectivas do Uso Sustentável do Bambu no Brasil. Brasília. Programa Nacional de Florestas – Relatório PNF-01/2005. 12p.

PRESZNHUK, R. A. O. Estudo da viabilidade do filtro de carvão de bambu como pós-tratamento em estação de tratamento de esgoto por zona de raízes: tecnologia ambiental e socialmente adequada. 110p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), UTFPR, Curitiba, 2004.

PRESZNHUK, R.A.O. Estudo da viabilidade do filtro de carvão de bambu como pós-tratamento em estação de tratamento de esgoto por zona de raízes: tecnologia ambiental e socialmente adequada. 2004. 110p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação e Tecnologia do Paraná.

QUÉNO, L. R. M. (2009). Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPG EFL.DM-132/09, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília,

Brasília, DF, 64p.

RIBEIRO, A.S. Carvão de bambu como fonte energética e outras aplicações. Instituto do Bambu. Maceió. Instituto do Bambu, 2005. 109 p.

ROMANELLI, T. L. Sustentabilidade Energética de um Sistema de Produção da Cultura de Eucalipto. 122 f. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz – ESALQ/USP. 2007.

SALGADO, A.L.; AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; MAQCEDO, E. L.; SALGADO, A.L.; Instruções técnicas sobre o bambu. Campinas, Instituto Agrônômico, 1992. 43 p.

SCURLOCK, J.M.O., DAYTON, D.C., HAMES, B., 2000. Bamboo: An overlooked biomass resource?, Biomass and Bioenergy. 19, 229-244.

SILVA, R. M. de C; O bambu no Brasil e no Mundo. Disponível em: <http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf>. Arquivo capturado em 20 de Outubro de 2010.

SILVEIRA, M. Floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas. 2001. 121 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

TANCREDI, M; ABBUD, O.A; ALVES: Por que o Brasil está trocando as hidrelétricas e seus reservatórios por energia mais cara e poluente?; Senado Federal, Consultoria Legislativa, Brasília, 05/2013, 42 p; Disponível em: <http://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/496199>; Acessado em: 07/10/2013.

TEIXEIRA, A. A., 2006. Painéis de Bambu para Habitações Econômicas: Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, DF, 179p.

VICTORINO, C.G. Resposta Técnica produzida pelo Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT). 2006. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 23 outubro de 2007.

YUMING, Y.; CHAOMAO, H. CHINA'S BAMBOO: Culture, resources, cultivation, utilization. Published by International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), Beijing, China, 2010.

Anexo A: Memorial Descritivo Referente aos Investimentos do Grupo João Santos

De acordo com os dados obtidos durante as visitas realizadas nos Grupos Penha e João Santos, foi possível estimar os investimentos necessários com base nos preços do mercado nacional para a implantação de um sistema de cogeração utilizando biomassa de bambu. Segue os itens relacionados na tabela 12.

Item 1: Preço da terra

Área necessária: 15.000 ha

Preço Médio do hectare no Brasil: R\$ 5.000,00⁷

R\$ 75.000.000,00

Item 2: Mudas

Mudas necessária:

Valor unitário da muda: R\$ 10,00⁸ (Bambusa vulgaris)

Item 9: Maquinário agrícola

Na exploração de 3 mil hectares de bambu, são utilizados as seguintes máquinas:

3 tratores, 1 Bel, 1 pá carregadeira, 2 tratores (4x4), 7 Caminhões bitren

Considerando a exploração de 17.800 ha, segue a relação:

- a) 15 Tratores (R\$ 70.000,00/unid.);
- b) 4 Pás carregadeiras;(R\$ 100.000,00/unid.)
- c) 30 caminhões (R\$ 150.000,00/unid.);
- d) 8 ônibus (R\$ 100.000,00);
- e) 2 Picadores (R\$ 500.000,00/unid.)

Valor: R\$ 7.700.000,00

⁷ De acordo com pesquisa de mercado regional (pesquisa na internet)

⁸ Valor médio encontrado por meio se pesquisa de mercado (via internet)

Item 10: Salários (cultivo)

Considerando a diária dos cortadores, é possível estimar o número de trabalhadores de acordo com a demanda da caldeira.

Diária: 1 homem corta 8 t/ha/dia

Demanda de biomassa: 408 t

Cortadores necessários: 51

Salário: R\$ 1.500,00 (com impostos)

Custo anual: R\$ 980.000.000,00

Item 11: Adubo

Recomendação do Grupo João Santos: 400 kg/ha ano

Considerando 17.800 ha,

Adubo total: 7 mil toneladas

Valor unitário: R\$ 110,00/t

Valor total = R\$ 770.000,00

Item 12: Calcário

O calcários será utilizado de acordo com a necessidade do solo. No grupo João Santos são utilizados em média 1200 kg/ha ano.

Considerando o cultivo de 17.800 ha;

Quantidade necessária: 21 mil toneladas;

Preço da tonelada: R\$ 30,00/t

Valor do investimento anual = R\$ 630.000,00

Item 13: Diesel consumido no picador

Demanda diária picada: 408 t/dia

Consumo: 30 l/h

Trabalha 20 horas diárias

Total no picador: 200 mil litros

Item 16: Transporte do picador até a planta industrial

Consumo anual da caldeira = 148.920 t/de cavaco;

Carga de cavaco = 50 t/viagem

Número de viagens = 3000

Distância das fazendas até a fábrica: 40 km é a mais distante, com 3.000 ha. As outras fazendas estão distantes em média 20 km.

Valor adotado: 25 km

O consumo médio dos caminhões: 1,6 km/l.

Diesel consumido por viagem (ida e volta) = 15,63 l

Preço do diesel: R\$ 2,30

Custo por viagem: R\$ 35,94

Viagens necessárias = 148.920 t/de cavaco/50 t = 3000

Valor total = Viagens necessárias x preço por viagem

Valor total = R\$ 108.000,00

Item 17: Consumo de diesel do ônibus

Trajetos diários considerados (ida e volta nas fazendas diariamente): 20 km

Dias úteis/ano: 240

km/ano rodado: 4800

Consumo: 1,6 km/l

Diesel/ano: 3 mil litros

Litro de diesel: R\$ 2,30

Diesel consumido/ano/ônibus: R\$ 7.000,00/ônibus

Considerado 2 ônibus

Valor: R\$ 14.000,00

Anexo B: Memorial Descritivo Referente aos Investimentos do Grupo Penha

De acordo com os dados obtidos durante as visitas realizadas nos Grupos Penha e João Santos, foi possível estimar os investimentos necessários com base nos preços do mercado nacional para a implantação de um sistema de cogeração utilizando biomassa de bambu. Segue os itens relacionados na tabela 11.

Item 1: Preço da terra

Área necessária: 15.000 ha

Preço Médio do hectare no Brasil: R\$ 5.000,00⁹

R\$ 75.000.000,00

Item 2: Mudas

Mudas necessária: 408/ha

Valor unitário da muda: R\$ 10,00¹⁰ (Bambusa vulgaris)

Área: 15.000 ha

Total: R\$ 60.000.000,00

Item 9: Maquinário agrícola

Na exploração de 3 mil hectares de bambu, são utilizadas as seguintes máquinas:

3 tratores, 1 Bel, 1 pá carregadeira, 2 tratores (4x4), 7 Caminhões bitren

Considerando a exploração de 17.800 ha, segue a relação:

- f) 15 Tratores (R\$ 70.000,00/unid.);
- g) 4 Pás carregadeiras; (R\$ 100.000,00/unid.)
- h) 30 caminhões (R\$ 150.000,00/unid.);
- i) 8 ônibus (R\$ 100.000,00);
- j) 2 Picadores (R\$ 500.000,00/unid.)

Valor: R\$ 7.700.000,00

⁹ De acordo com pesquisa de mercado regional (pesquisa na internet)

¹⁰ Valor médio encontrado por meio de pesquisa de mercado (via internet)

Item 10: Salários (cultivo)

Número de trabalhadores: 300

Salário médio: R\$ 1.500,00 (com impostos)

Custo anual da operação = R\$ 5.400.000,00

Item 11: Adubo

Recomendação do Grupo João Santos: 400 kg/ha

Considerando 17.800 ha,

Adubo total: 7 mil toneladas

Valor unitário: R\$ 110,00/t

Valor total = R\$ 770.000,00

Item 12: Calcário

O calcário será utilizado de acordo com a necessidade do solo. No grupo João Santos é utilizado em média 1200 kg/ha ano.

Considerando o cultivo de 17.800 ha;

Quantidade necessária: 21 mil toneladas;

Preço da tonelada: R\$ 30,00/t

Valor do investimento anual = R\$ 630.000,00

Item 13: Salários (Picador)

Considerando a exploração de 17.800 ha, são necessários 100 trabalhadores incluindo os motoristas.

Salário médio: R\$ 1.500,00 (com impostos)

Valor total = R\$ 1.800.000,00

Item 14: Energia Elétrica (Picado)

Quantidade necessária diária: 408 t/dia

Consumo picador: 7 kWh/tonelada de cavaco.

Produção: 20 t/h

Trabalhando 20 h/dia

Preço da energia: R\$ 120,00 /MWh¹¹

R\$ 14.000,00

Item 15: Transporte do bambu da plantação para picador

Os colmos depois de colhidos na medida de 2,20 m de comprimento serão transportados até o pátio de picagem por caminhões equipados por bitrem (Romeu e Julieta).

Distância média percorrida: 20 km

Consumo de diesel

O consumo médio dos caminhões: 1,6 km/l.

Diesel consumido por viagem (ida e volta) = 25 l

Preço do diesel: R\$ 2,30

Custo por viagem: R\$ 57,50

Considerando, o transporte do bambu produzido por ano;

Temos que,

Consumo anual da caldeira = 148.920 t/de cavaco;

Transformando tonelada de cavaco em metro estéreo (st), segue a relação utilizada no Grupo Penha, onde 1 metro estéreo = 1 toneladas de cavaco = 0,7 metro estéreo.

Total de bambu (na forma de colmos) a ser transportado por ano= 193.596 st

Carga do caminhão (bitrem): 85 st

Número de viagens = 2280

Valor total = custo por viagem x número de viagens

Valor total = R\$ 130.000,00

Item 16: Transporte do picador até a planta industrial

Consumo anual da caldeira = 148.920 t/de cavaco;

¹¹ Valor médio dos últimos leilões da ANEEL.

Carga de cavaco = 50 t/viagem

Número de viagens = 3000

Distância do picador até a planta: 3 km

O consumo médio dos caminhões: 1,6 km/l.

Diesel consumido por viagem (ida e volta) = 3,7 l

Preço do diesel: R\$ 2,30

Custo por viagem: R\$ 8,63

Viagens necessárias = 148.920 t/de cavaco/50 t = 3000

Valor total = Viagens necessárias x preço por viagem

Valor total = R\$ 26.000,00

Item 17: Consumo de diesel do ônibus

Trajetos diários considerados (ida e volta nas fazendas diariamente): 20 km

Dias úteis/ano: 240

km/ano rodado: 4800

Consumo: 1,6 km/l

Diesel/ano: 3 mil litros

Litro de diesel: R\$ 2,30

Diesel consumido/ano/ônibus: R\$ 7.000,00/ônibus

Considerando 8 ônibus

Valor total: R\$ 55.000,00

Anexo C: Proposta Técnica TGM Turbinas

PROPOSTA TÉCNICA

CENBIO
São Paulo / SP

AT.: Sr. Rodrigo Guarnetti
Telefone: 011 9 7013 0015
e-mail: rguarnetti@usp.br

Projeto Penha Papel e Celulose

Proposta N.º 0000/13 R.0
07 de outubro de 2013

Controle de Revisões

REVISÃO	DATA	COMENTÁRIO
0	07/10/2013	Emissão inicial

Índice

1. Resumo do Fornecimento.....	119
2. Descrição dos equipamentos.....	120
3. Dados Técnicos da Turbina	73
4. Redutor de velocidades / Acoplamentos.....	124
5. Sistema hidráulico	125
6. Instrumentação.....	128
7. Sistema de Condensação	133
8. Limites de fornecimento	135
9. Exclusões de fornecimento	136
10. Documentação.....	138
11. Comentários e desvios em relação ao “ADENDO TÉCNICO AUTOMAÇÃO”	140

1. Resumo do Fornecimento

- Turbina TGM de reação, condensação, com extração controlada, modelo **CTE 20** para acionamento de gerador
- Redutor de velocidades, eixos paralelos, bi-helicoidal, 12.000/1.800 rpm, fs=1,3, com giro lento
- Acoplamentos de alta e baixa rotação com proteções
- Sistema hidráulico completo para óleo de lubrificação e regulação composto por 01 bomba de óleo principal acionada pelo eixo de baixa velocidade do redutor, 01 bomba de óleo auxiliar acionada por motor elétrico de corrente alternada, 01 bomba de emergência acionada por motor elétrico de Corrente Contínua, 01 resfriador de óleo duplo com tubos em **aço inox**, 01 filtro de óleo duplo e 01 tanque de óleo separado
- Tanque de óleo separado da base do turbo-redutor
- Skid para unidade hidráulica
- Placas de apoio para turbina e redutor
- 02 (duas) válvulas de fecho rápido sendo:
 - ✓ 01 (uma) para admissão de vapor fixada na carcaça de admissão de vapor e
 - ✓ 01 (uma) para extração de 10,0 bar (a) **(fornecido separado para instalação na linha)**
- Sistema de proteção por sobrevelocidade eletrônico Woodward Protech GII
- Sistema de monitoração de vibração radial e deslocamento axial para turbina e eixo de alta rotação do redutor
- Sistema de regulação eletrônico Woodward modelo 505E com atuação via CPC – II
- Configuração do PLC , dedicado para controle e proteção da Turbina-Redutor (*)
- Transmissores de pressão e temperatura
- Sistema de condensação à vácuo completo, com tubos em **aço inox**, com sistema de ejetores de partida e serviço e bombas horizontais de extração de condensado.
- Interligação com Duto Reto, entre turbina e condensador, inclusive junta de expansão, para instalação do condensador sob da turbina
- Sistema de vapor de selagem
- Serviços de supervisão de instalação, comissionamento, partida, 20 dias de operação assistida e treinamento
- Transporte e seguro até a obra **(descarregamento e movimentação por conta do cliente, com supervisão feita pela TGM) (**)**
- Jogo de chumbadores e niveladores para o turbo redutor
- Válvulas para drenagem de vapor
- Indicadores visuais para retorno de óleo dos mancais para o tanque
- Pintura conforme padrão TGM
- Plano de Inspeção e Testes (PIT), conforme padrão TGM (***)

(*) PLC e IHM serão fornecido pelo cliente, entretanto a configuração de ambos deve ser feita pela TGM devido a segurança e proteção da turbina, assim como sua garantia.

(**) Estamos considerando que as estradas / acessos por onde passarão os caminhões estão em perfeitas condições de trânsito, ou seja, não faz parte do nosso escopo nenhuma atividade relacionada a ações envolvendo trabalhos em estradas /

acessos até o local de descarga dos equipamentos inclusive no descarregamento dos mesmos.

(***) Caso o cliente queira contratar inspeção externa, a TGM avaliará os impactos que as exigências do Inspetor causarão em seu PIT. Alterações consideradas relevantes, que impliquem em mudanças de prazo e custo, serão repassadas ao cliente.

2. Descrição dos equipamentos

A turbina a vapor TGM, multiestágio, de reação, condensação com extração controlada, modelo **CTE 20** é bi-partida horizontalmente, sendo que a carcaça superior da turbina (entrada de vapor) incorpora um bloco com **válvulas de regulagem automáticas**, que são acionadas diretamente por **servo-motores hidráulicos**, garantindo excelente estabilidade de rotação e parcialização de cargas.

São fornecidas **duas válvulas de fecho-rápido**, sendo que a primeira é fixada na carcaça superior, estando diretamente conectada com as válvulas de admissão de vapor. A segunda pertence à linha de extração sendo fornecida em avulso para a instalação na tubulação do cliente. Ambas são acionadas hidraulicamente e asseguram total proteção à turbina.

O conjunto rotor é formado por uma roda de regulagem e demais estágios de reação em **forjado integral**, apoiado por **mancais**, sendo um mancal radial-axial e um mancal radial, ambos equipados com pastilhas oscilantes (**"Tilting Pads"**).

Este rotor possui uma bucha de compensação que faz o equilíbrio do conjunto interligado à pressão de saída do vapor com a função da redução do empuxo axial; sua vedação é feita com fitas de labirinto, tanto na compensação como nas buchas anteriores e posteriores

Entre os estágios são montadas vedações em aço inóx no eixo e canais no porta-palhetas.

O rotor será balanceado em túnel á vácuo na rotação nominal.

A turbina é protegida por um isolamento térmico recoberto com chapas, mantendo a forma construtiva da mesma.

3. Dados Técnicos da Turbina 8

Máquina acionada	GERADOR	
Modelo da turbina	CTE 20	
Ponto de operação	1	
Potência nos bornes do gerador	3.900	kW
Pressão do vapor de entrada	60,0	Bar(a)
Temperatura do vapor de entrada	490	°C
Vazão do vapor de entrada	25.000	Kg/h
Entalpia do vapor de entrada	3399,12	KJ/kg
Pressão do vapor na extração	10,0	Bar(a)
Temperatura do vapor na extração	281,81	°C
Vazão de vapor na extração	15.000	Kg/h
Entalpia do vapor na extração	3012,62	KJ/kg
Pressão do vapor no escape	0,01	Bar(a)
Temperatura do vapor no escape	45,81	°C
Vazão do vapor no escape	10.000	Kg/h
Entalpia do vapor no escape	2457,81	KJ/kg
Rotação da turbina	12.000	Rpm
Rotação da máquina acionada	1.800	Rpm
Tolerância	1	%

Rotação da turbina: **Anti-Horário**; Rotação da máquina acionada: **Horário**

Obs.: 1) Sentido de rotação visto da turbina para a máquina acionada;
2) Eficiência adotada para o gerador **96,8%**; **reductor: 98,5%**

A garantia de performance indicada acima não inclui uma tolerância de 1%, a qual deve ser considerada por questões construtivas. A garantia é válida somente com as válvulas de controle completamente abertas, as palhetas livres de depósitos e a superfície do sistema de resfriamento limpa, de acordo com as regras estabelecidas no "The Thermal Acceptance Tests on Steam Turbines (VDI-Steam Turbine Regulations) DIN 1943", Edição de Fevereiro de 1975.

Este teste deverá ser executado até 4 (quatro) meses após o primeiro contato do vapor com a turbina, e deverá ser programado, planejado e conduzido pelo cliente às suas expensas.

Materiais

Partes de entrada de vapor	ASTM A217 WC6
Carcaça da turbina	ASTM A217 WC6
Rotor (integral)	28CrMoNiV4.9
Injetores	X20CrMo13
Palhetamento fixo / móvel	X20CrMo13 / X22CrMoV12.1
Partes internas das válvulas	21CrMoV5 7V
Revestimentos dos mancais	Metal Patente
Tubulação interna de vapor	ASTM A 355 Gr. P22
Tubulação de Óleo	SAE 1020

Parâmetros de Projeto

Pressão de entrada: 68 bar (a)

Temperatura na entrada: 493 °C

Estes valores tomam como referência as recomendações constantes na norma IEC, publicação 45

Conexões de vapor (Flanges da turbina)

	Admissão	Extração	Escape
DN (in)	4	6	36
PN (psi)	900	300	150
Norma	ANSI B 16.5	ANSI B 16.5	ANSI B 16.5
Direção	Direita por baixo	Para baixo	Para baixo

OBS.: Direção dos flanges visto da turbina para a máquina acionada**Sistema de regulação**

Será feito através de regulador eletrônico Woodward tipo 505E conforme NEMA classe D, com atuação via conversor tipo corrente-pressão no servo motor de acionamento das válvulas. O sistema é composto dos equipamentos abaixo:

- Regulador eletrônico Woodward 505E
- Atuador CPC II (02 peças)
- Servo – motor de acionamento TGM
- Pick – up magnético (03 peças – serão utilizados em conjunto com o Protech GII)

Sistema de proteção da turbinaA turbina está equipada com **02 Válvulas** de fecho rápido (uma na entrada e a outra na linha de extração) atuando sempre que ocorrer um ou mais dos critérios abaixo:

- Sobrevelocidade (eletrônico) (*)
- Válvula solenóide 3 vias-elétrico
- Desarme manual
- Baixa pressão óleo de lubrificação
- Alta temperatura dos mancais redutor
- Alta temperatura do mancal axial
- Alta temperatura dos mancais radiais
- Vibração radial excessiva
- Deslocamento axial excessivo
- Falha regulador 505E
- Alta temperatura vapor admissão
- Alta pressão vapor escape

(*) A turbina está equipada com sistema de fecho rápido por sobre-velocidade eletrônico da Woodward, modelo Protech GII, que opera com 03 sensores de rotação e atua na turbina através do sistema de votação “2 out of 3”.

Nível de Pressão Sonora

O valor aproximado do Nível de Pressão Sonora para turbo-redutores é de **96 dB (A) ± 2**, para medições feitas a 1 m de distância da cabine acústica, não consideradas as condições ambientais, com base nas normas ISO 3740 e VDI 2159.

Vibrações Mecânicas

O critério de avaliação é conforme Norma ISO 10816, parte 3 – Grupo 1 – Zona A/B, velocidade de vibração 2,3 mm/s para suporte rígido ou 3,5 mm/s para suporte flexível.

4. Redutor de velocidades / Acoplamentos

Redutor de velocidades

Tipo	Engrenagens / eixos paralelos
Potência na entrada	3.900 kW
Rotação na entrada	12.000 rpm
Rotação na saída	1.800 rpm
Tipo de engrenamento	Bi-helicoidal
Tratamento dos dentes	Cementado e retificado
Mancais	Deslizamento
Eficiência estimada	98,5%
Fator de serviço	1,3
Relação de transmissão	6,66

Giro Lento

Tipo	Elétrico (*)
Potência do motor (aprox.)	11 kW (A ser confirmada)
Posicionamento	No redutor de velocidade
Engate / desengate	Automático / automático

Obs:

- 1 - O Cliente deverá garantir o suprimento de corrente alternada, conectando este motor à rede de cargas prioritárias da planta.
- 2 - O giro lento é acoplado e desacoplado automaticamente. O acionamento é feito manualmente por botoeira local.
- 3 - Em caso de falta de energia na partida / parada é fornecido um volante manual para permitir o acoplamento do giro lento

Acoplamentos

Alta rotação

Tipo	Lâminas
Rotação	12.000 rpm
Lubrificação	Isento
Fator de serviço	1,5

Baixa rotação

Tipo	Engrenagens
Rotação	1.800 rpm
Lubrificação	Graxa
Fator de serviço	1,5

5. Sistema hidráulico

Bomba de óleo principal (acoplada ao redutor)

Tipo	Fusos
Óleo	ISO VG 68
Acionamento	Eixo de baixa rotação do redutor
Pressão fornecida	10,0 kgf/cm ²
Rotação	1.800 rpm

Bomba de óleo auxiliar

Tipo	Fusos
Pressão fornecida	10,0 kgf/cm ²
Acionamento	Motor elétrico
Tipo de corrente	Alternada
Frequência	60 Hz
Rotação	1.760 rpm
Forma construtiva	B 3
Classe de proteção	IP 55

Bomba de óleo de emergência

Tipo	Engrenagem
Óleo	ISO VG 68
Acionamento	Motor elétrico
Tipo de corrente	Contínua

Resfriador de óleo

Temperatura Max. entrada de água de resfriamento	30 °C (*)
Temperatura da água de refrigeração (aprox.)	35 °C
Temperatura da entrada de óleo	60 °C
Temperatura de saída de óleo	45 °C
Perda de pressão	1,0 kgf/cm ²
Pressão de água de refrigeração	3,5 kgf/cm ²
Tipo de água de refrigeração	industrial
Tipo	duplo
Quantidade de água (aprox.)	40 m ³ /h

(*) Deverá ser confirmado pelo cliente

Materiais

Tubos	A 304
Espelhos	ASTM A 285 Gr. C
Câmara de água	ASTM A 285 Gr. C

16 2105-2529

Carcaça

ASTM A 285 Gr. C

Filtro de óleo para lubrificação – Turbina / Redutor / Gerador

Tipo	Duplex
Malha do Filtro	0,025 mm
Perda de carga normal	0,2 kgf/cm ²
Material do elemento filtrante	Aço inoxidável
Montagem	Em base separada

Exaustor de Névoa

Modelo	W 50
Número	12612-1
Potência	1,5 CV

Tanque de óleo

Tipo de óleo	ISO VG 68
Material	Aço estrutural

OBS: O tanque de óleo será fornecido separado da base da turbina, a unidade hidráulica será montada em um skid

6. Instrumentação

Item	Descrição	Fabricante
1	Espaço reservado para PLC a ser fornecido pela Siner	-
2	Supervisor de Vibração - Entek 120	Rockwell
3	Regulador Velocidade 505E	Woodward
4	Protech GII	Woodward
5	IHM com protocolo Ethernet	Allen Bradley
6	Desarme de Emergência	Schneider, Ace, AB
7	Sirene Bitonal	Schneider, Ace, AB
8	Fontes de Alimentação 24Vcc (entrada universal) 2 de 20A e 2 de 5A (CPC)	Phoenix, Schneider, ABB
9	Switch Industrial (SPIDER)	Hirschman
Obs: 1-Alimentação do Painel 220Vac e 125Vcc 2-CCM separado (fornecimento Cliente) 3-Transmissores 4-20mA + Hart + FDT/DTM 4- Painel, PLC e IHM exclusivos do escopo TGM (Deveram ser fornecidos pela Siner) 5- Configuração escopo TGM		

Todas as variáveis, conforme lista de instrumentos, serão indicadas através de um painel local com IHM a ser instalado ao lado da turbina.

Lista de instrumentos e funções

Ponto de medição	QT	LC	PA	AL	TR
Sistema de regulação da turbina					
Regulador Velocidade 505E	1		X	X	X
Atuador Eletro-hidráulico CPC II	2	X		X	
Sensor de Velocidade Pick-up	3	X			
Sistema de proteção da turbina					
Sobre-velocidade (Protech GII)	1		SI	H	HH
Deslocamento axial do eixo da turbina	2	ZE	ZI	H	HH
Vibração radial do eixo da turbina	4	VE	VI	H	HH
Vibração radial do eixo de alta rotação do redutor	4	VE	VI	H	HH
Deslocamento axial do eixo da turbina	2	ZE	ZI	H	HH
Deslocamento angular do eixo da turbina	1	KE	KI		
Keyphasor	1/1	KE/KT	KI		
Sistema de vapor					
Pressão de vapor vivo	1	PIT	PI		HH
Pressão câmara de roda	1	PIT	PI		
Pressão de extração	1/2	PS /PIT	PI		HH
Pressão de escape	1/1	PS /PIT	PI		HH
Pressão de selagem	2	PIT	PI		
Temperatura de vapor vivo	1/1	TE/TIT	TI	LL	
Temperatura de extração	1	TE	TI		
Temperatura de escape	1	TE	TI		
Temperatura selagem	2	TE	TI	L/H	
Sistema de lubrificação					
Pressão de lubrificação	2 / 1	PS /PIT	PI		LL
Pressão diferencial do filtro de óleo	1	PDIT	PI	H	
Temperatura de óleo antes do resfriador	1	TE	TI		
Temperatura de óleo após resfriador	1	TE	TI	L/H	
Temperatura metal mancais radiais turbina	4	TE	TI	H	HH
Temperatura metal mancais radiais redutor	4	TE	TI	H	HH
Nível do Tanque de Óleo	1	LIT	LI	L	
Temperatura no Tanque de Óleo	1	TE	TI	L/H	
Sistema de regulação					

Pressão de impulso de óleo	1/1	PS /PIT	PI	L	
Pressão de óleo de regulação	2	PIT	PI		

Outros					
Trip manual	1	HV	HS		X
Indicação de turbina parada	1	ZS	ZI		
Indicação de turbina extraíndo	1	ZS	ZI		
Indicação giro lento acoplado	1	ZS	ZI		
Rotação da turbina (PROTECH GII)	1	SE	SI		HH
Temp. carcaça (Flange Face Junção Int.)	4	TE	TI	L/H	
Temperatura no bloco de válvulas	1	TE	TI		
Nível no Hot-Well	2/1	LS/LIT	LI	LL	HH
Temperatura no Hot-Well	1	TE	TI		
IHM (Interface Homem Máquina)	1		X		

PS.: Com exceção do regulador Woodward 505E e XM120 Entek, todos os demais instrumentos e equipamentos listados na coluna “PA” (Painel) e “AL” (Alarmes), deverão ser fornecidos pela Siner, junto com o painel local (ao lado da turbina). A TGM Fornecerá os instrumentos listados sob a coluna “LC” (local).

Legenda

AL: Alarme

pressão

PDIT: Transmissor indicador de pressão diferencial

H: Sinal Alto

HH: Sinal muito alto

HS: Chave manual

HV: Válvula Manual

L: Sinal baixo

LC: Local

LI: Indicador de nível

LL: Sinal Muito Baixo

LT: Transmissor de nível

PA: Painel

PI: Indicador de pressão

KE: Sensor de fase

PIT: Indicador transmissor de

PS: Pressostato

SE: Sensor de rotação

SI: Indicador de rotação

TE: Sensor de temperatura

TI: Indicador de temperatura

TR: Trip

VE: Sensor de vibração

VI: Indicador de vibração

VT: Transmissor de vibração

ZE: Sensor de deslocamento

ZI: Indicador de deslocamento

ZS: Fim de curso

KI: Indicador de fase

Tensão dos instrumentos

Função	Tensão	Frequência	Observação
Segurança	125 Vcc	-	
Auxiliar Painel de instrumentos	220 Vca	60 Hz	
Instrumentação	24 Vcc	-	
Corrente Contínua	24 Vcc	-	
Bomba Auxiliar	440 Vca	60 Hz	

Bomba Emergência	125 Vcc	-	
------------------	---------	---	--

OBS: As tensões mencionadas na tabela acima são sugeridas e deverão ser confirmadas posteriormente

7. Sistema de Condensação

Condensador principal

Tipo

Material Casco / Tubos

304

Pressão de projeto / teste

Casco & Tubos Horizontal
Aço carbono / **A-249-TP-**

2,0 / 3,0 Kgf/cm²

Dados técnicos do condensador

Fluido Casco / Tubos

Vazão de vapor

Entalpia do vapor (aprox.)

Vazão de água necessária (aprox.)

Pressão de vapor

Temperatura max. entrada de água resfriamento

Temperatura de saída de água (max.)

Perda de pressão Vapor / Água

Pressão de água de refrigeração

Nº de passes Casco / Tubos

Vapor / Água

10.000 kg/h

2.456,3 kJ/kg

600 m³/h

0,09 bar (a)

30°C

40°C

0,01 / 1,2 Kgf/cm²

3,5 Kgf/cm²

1 / 2

Vapor para ejetores / sistema de selagem (valores aproximados) (*)

Vazão de vapor para ejetores / sistema de selagem

40 – 170 kg/h

Pressão de vapor

12 – 21 kgf/cm²

Temperatura de vapor

180 – 250 °C

(*) O cliente deve prever estas vazões, além da vazão de vapor para a turbina. Toda a tubulação, instrumentação, válvulas redutoras de pressão, dessuperaquecedor e demais acessórios necessários para atender as condições acima deverão ser previstas pelo cliente

Componentes do sistema de ejeção e extração de condensado

- Ejetor de partida com silencioso (1 x 100 %)
- Ejetor de 1° e 2° estágios (2 x 100 %)
- Condensador dos ejetores (1 x 100 %)
- Moto-bombas de condensado (2 x 100%) tipo centrífugas, horizontais, acionadas por motor elétrico
- “Hotwell” p/ retenção mínima de 1(um) minuto
- Chave de nível e visor para controle de extração de condensado
- Válvulas de controle p/ descarga e recirculação do condensado
- Instrumentação contendo manômetros, termômetros e válvulas
- Acessórios de tubulações
- Sistema de segurança por sobre-pressão (**válvula de segurança, a ser instalada no corpo do condensador**)
- Interligação com Duto Reto, entre turbina e condensador, inclusive junta de expansão, para instalação do condensador sob da turbina

Obs.: Os dados do condensador são estimados e deverão ser confirmados pelo fabricante

8. Limites de fornecimento

A TGM limita seu fornecimento conforme demonstrado abaixo:

Vapor

- Flange de entrada da turbina
- Flanges de entrada e saída da válvula de fecho-rápido da extração
- Flange de saída da extração
- Flange de entrada dos ejetores de partida e serviço
- Flange de entrada do sistema de selagem
- Flanges de entrada e saída do silencioso do ejetor de partida
- Flange de saída da válvula de segurança a ser instalada no corpo do condensador

Água de resfriamento

- Flanges de entrada e saída do resfriador de óleo do turbo-redutor
- Flanges de entrada e saída do condensador a vácuo do sistema de condensação da turbina

Elétrico

- Conexões dos instrumentos
- Conexões dos motores elétricos fornecidos

Drenos

- Flanges de saída das válvulas dos drenos

Ar, gases e não condensáveis

- Conexões nos aparelhos/instrumentos fornecidos, onde aplicável

Condensado

- Flange de saída do sistema de controle de condensado

9. Exclusões de fornecimento

Os seguintes itens estão excluídos do escopo do fornecimento TGM:

- Tubulação de vapor, água, condensado e acessórios/instrumentos de linha, fora dos limites de fornecimento (inclusive válvulas, juntas, etc.) bem como seus respectivos projetos
- Projeto, base civil e obras civis
- Projetos elétricos, interligações de água, vapor e condensado.
- Descarregamento e movimentação no local da obra, bem como os respectivos equipamentos necessários à realização dos mesmos.
- Materiais e serviços de interligação elétrica e mecânica (cabos, fios, eletrodutos, tubos, conexões, etc.) bem como seus respectivos projetos
- Utilidades tais como energia elétrica, água, ar comprimido, consumíveis de solda e outros.
- Toda a tubulação, instrumentação, válvulas redutoras de pressão, dessuperaquecedor e demais acessórios necessários para atender ao sistema by-pass da turbina;
- Toda a tubulação, instrumentação, válvulas redutoras de pressão, dessuperaquecedor e demais acessórios necessários para atender as condições de vapor para ejetores do sistema de vácuo do condensador e sistema de selagem da turbina;
- PLC / IHM
- Painel local para turbina e redutor
- Sistema supervisor
- Gerador, painéis e acessórios, assim com transporte e descarregamento
- CCM para os motores da turbina
- Banco de baterias para fornecimento de corrente contínua e resistências de partida para o motor da bomba de emergência
- Sistema digital de controle de divisão de carga e de importação / exportação de energia (MSLC/DSLCC)
- Casa de força e complementos
- Protocolo Gateway 723
- Bomba de elevação do rotor do gerador (não aplicável)
- Carga de óleo
- Cabine acústica para turbina e redutor
- Válvula de retenção para a linha de vapor de extração
- Torre de resfriamento para circuito de água de resfriamento do conjunto turbina-gerador
- Bombas de recirculação de água de resfriamento do conjunto turbina-gerador
- Sistema de monitoração de vibração radial e deslocamento axial do gerador
- Serviços de instalação para os equipamentos ofertados
- Peças sobressalentes
- Junction boxes (Caixas de junção)
- Teste de performance no campo
- Teste sem carga na fábrica
- Teste de estabilidade térmica do rotor

- Escadas, passarelas, plataformas e similares
- Demais equipamentos ou acessórios não expressamente citados nessa proposta

10. Documentação

- Desenho de instalação da turbina
- Desenho de corte da turbina
- Fluxogramas de água, vapor e sistema hidráulico
- Lista de materiais dos fluxogramas de água, vapor e sistema hidráulico
- Lista de válvulas dos fluxogramas de água, vapor e sistema hidráulico
- Lista de motores e aparelhos elétricos do fluxograma de água, vapor e sistema hidráulico
- Curvas de consumo de vapor
- Data book (1 via)
- Manual de instruções (2 vias em formato eletrônico)

Anexos

- Requisitos Estatutários e Regulamentares
- Qualidade recomendada de vapor
- Qualidade recomendada para água de resfriamento
- Qualidade recomendada para óleo de lubrificação
- Recomendações do IEC

Na expectativa de tê-los atendido a contento, colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos adicionais.

Atenciosamente,

Everton Gregoldo
Engenharia de Aplicação
Negócios
Tel.:(16) 2105 2638 R.2231

Carlos Paletta
Gerente de Desenvolvimento de
Tel.:(16) 9 9159 6549

TGM TURBINAS IND. E COM. LTDA

Rod. Armando de Salles Oliveira, Km 4,8 – Sertãozinho / SP
Phone: +55 16 2105 2638 Fax: +55 16 3945 8276
site: <http://www.grupotgm.com.br>

16 2105-2529

e-mail: vendas@tgmturbinas.com.br

11. Comentários e desvios em relação ao “ADENDO TÉCNICO AUTOMAÇÃO”

- A configuração do PLC e IHM, assim como sua especificação, faz parte do escopo TGM. Os equipamentos físicos serão fornecidos pela Siner.
- O painel de controle será fornecido pela Siner.
- A TGM necessita das informações e projeto do CCM em até 180 dias da data de entrega estipulada na proposta comercial
- A TGM irá definir o hardware do PLC e IHM em até 220 dias da data de entrega estipulada na proposta comercial
- A TGM necessita do sistema montado (painel, PLC, IHM e acessórios) em até 60 dias da data de entrega estipulada na proposta comercial
- Materiais e serviços elétricos não fazem parte do escopo TGM.
- Está **excluso** do escopo TGM o fornecimento de instrumentação que possibilite a operação total da planta a partir da sala de controle.
- O P&ID consolidado e os diagramas de malhas e intertravamentos detalhados são feitos conforme recomendações da NORMA ISA, com simbologia padrão TGM.
- Os documentos serão entregues conforme descrito abaixo:

9. Documentos	Prazo de entrega (dias da entrega dos equipamentos)
Lista de cargas elétrica consolidada (incluindo tipo de acionamento recomendado)	200
P&ID consolidado, com detalhamento intermediário	210
Lista de instrumentos de campo	180
Desenho de layout mecânico da planta com localização dos instrumentos de campo e pontos de interligação dos equipamentos com alimentação elétrica; em extensão DWG (editável) para elaboração de projeto eletromecânico de instalação (encaminhamento de cabos)	90

O diagramas de malhas e intertravamentos detalhados está **excluído** do escopo TGM, tendo em vista que os serviços de instalação e interligação elétrica não fazem parte de nosso escopo. Estes deverão ser fornecidos por terceiros.

O descritivo operacional dos equipamentos a serem controlados (consta no manual) será entregue **15 dias** após o recebimento por via eletrônica do manual certificado do painel

- Para os casos onde seja necessária a integração do equipamento fornecido automatizado a um sistema de controle existente, a TGM fica ainda responsável por:
 - ✓ Seguir os padrões de telas, animações e comandos definidos pelo cliente final
 - ✓ Fornecer os mapas de memória dos controladores, interfaces locais e redes.
 - ✓ Fornecer desenhos detalhados de arquitetura do sistema de controle em todos os níveis de redes.
- Todos os instrumentos deverão ser fornecidos com plaqueta de identificação com o TAG conforme padrão TGM (a ser informado em até 60 dias após envio da proposta consolidada TGM).
- A instrumentação utilizada para o sistema de controle deverá ter as seguintes características mínimas:
 - ✓ 4 a 20mA + HART + FDT/DTM
 - ✓ Indicação local em unidade de engenharia.
 - ✓ Display
 - ✓ Conexões elétricas ½”NPT.
- Não faz parte do escopo TGM a instalação mecânica dos instrumentos de campo e ou quaisquer outros equipamentos.
- Válvulas de controle fabricadas pela TGM, integradas à turbina, engenheiradas conforme projeto de desenvolvimento interno
- Válvulas ON/OFF não fazem parte do escopo TGM **(EXCLUSAS)**
- Estamos considerando uma garantia estendida de 12 meses além do período de garantia estipulado em nossa proposta comercial. As condições para que esta garantia seja válida encontram-se destacadas em nossa proposta comercial **(CONDIÇÕES GERAIS DE VENDA TGM, Item 10)**

Os seguintes itens mencionados não se aplicam:

Item	Descrição	Fabricantes	Observações
1.1.1.1	Atuador de damper	Hiter Cobra	Com monitor de válvulas ON/OFF em Device Net
1.1.1.2	Chaves de Nível	Endress Hauser Nivetec Lince	
1.1.1.3	Cilindro Pneumático	Parker Norgren	
1.1.1.4	Conexões de engate rápido em latão niquelado.	Norgren	
1.1.1.5	Conjunto de filtro e regulador de ar comprimido	Parker Norgren	
1.1.1.6	Sensor capacitivo de nível para bagaço de cana	Eletrosert DLG	
1.1.1.7	Transmissor / Analisador Condutividade	Yokogawa Metler Toledo	HART + FDT/DTM
1.1.1.8	Transmissor / Analisador de pH	Yokogawa Metler Toledo	HART + FDT/DTM
1.1.1.9	Transmissor / Analisador Turbidez	Yokogawa Metler Toledo	HART + FDT/DTM
1.1.1.10	Transmissor de Nível (radar de onda guiada)	Endress Hauser Emerson Process	HART + FDT/DTM
1.1.1.11	Transmissor de Nível (radar)	Endress Hauser Emerson Process	HART + FDT/DTM
1.1.1.12	Transmissor de Nível (ultra-sônico)	Endress Hauser Emerson Process	HART + FDT/DTM
1.1.1.13	Válvulas de controle modulantes	Hiter (Tyco) Bray	
1.1.1.14	Válvulas de controle ON/OFF	Hiter (Tyco) Bray	

Informamos que para:

1.1.1.15	Válvula Solenóide para comando	Norgren Westlock Parker	
1.1.1.16	Válvula Solenóide para processo	Norgren ASCOVAL Parker	

O fornecedor destas válvulas solenóide será a Rex Roth. Não há possibilidade de atender aos fornecedores mencionados pela SINER, tendo em vista que todo o bloco é para a TGM.

Requisitos Estatutários e Regulamentares

Informamos que a TGM Turbinas Ind. & Com. Ltda cumpre com as leis brasileiras referentes aos Requisitos Estatutários e Regulamentares, além das recomendações constantes da NIMF Nº 15/2002 - FAO, relativa à Certificação Fitossanitária.

Qualidade recomendada para a Água de Refrigeração

Em condensadores e trocadores de calor, a seleção de seus materiais é função direta do tipo (agressividade) da água de refrigeração. Torna-se então evidente que a agressividade da água em operação contínua não deve aumentar em relação ao valor originalmente especificado, pois pode-se reduzir significativamente a vida média dos equipamentos.

Além disso, acúmulo de depósitos nos tubos, reduzem sensivelmente a eficiência de troca de calor e propiciam uma aceleração da corrosão interna.

Para se garantir uma operação segura, deve-se manter alguns requisitos básicos, conforme abaixo:

Refrigeração em circuito aberto

A quantidade total de sal não deve ultrapassar 1000mg/l. A água deve possuir composição química apropriada, pois tratamentos não se aplicam.

Caso haja partículas em suspensão, deve-se proceder a uma filtragem. Algas podem ser mortas por cloração. Para se evitar a separação de carbonatos basta manter o equilíbrio cálcio/ácido carbônico.

Refrigeração em circuito fechado

Os seguintes valores não devem ser ultrapassados:

PH	7
Ácido carbônico	3 g/l
Dureza do carbonato	6° dH
Dureza do carbonato para fosfatos polimorfos	12° dH
Dureza de não carbonato	80° dH
Cloretos	400 mg/l
Sulfatos	500 mg/l
Teor total de sal	3000 mg/l
Alcalidade total	15 mmol/l
Ácido silícico	200 mg/l
Partículas em suspensão	10 mg/l

NOTA: Periodicamente inspecionar o fluxo de água e certificar-se que as câmaras estejam sempre limpas.

Condições de Vapor para Turbinas

Abaixo segue as recomendações referentes às características do vapor e as variações admissíveis, bem como os acessórios de linha recomendados pela TGM.

Qualidade recomendada para o vapor

As incrustações nas turbinas provocadas por vapor contaminado podem levar à perturbações termodinâmicas e mecânicas como por exemplo quebra de palhetas. O custo do tratamento da água é relativamente baixo comparado com os danos provocados pelas incrustações decorrentes da presença de impurezas. Os índices abaixo indicam os teores máximos.

VALORES DE REFERÊNCIA PARA CONDENSADO DO VAPOR VIVO			
Pressão de vapor	Até 32 bar	De 33 a 52 bar	Acima de 53 bar
Condutividade a 25°C para água isenta de CO ²	< 0,2 uS/cm		
Óxido de silício (SiO ₂) [ppb]	50	25	10
Ferro (Fe) [ppb]	30	15	5
Demais metais pesados [ppb]	20	10	2
Sódio (Na) + Potássio (K) [ppb]	20	10	2
Alcalinidade total [ppb]	100	60	50
Dureza	0		

Mantendo-se a qualidade do vapor como acima mencionado, praticamente, não se observa incrustações no rotor da turbina; lavagens se tornam desnecessárias.

Recomendações Internacionais do IEC

Da 45.19 Valores limites para pressão e temperatura do vapor

Variação da pressão:

A média da pressão de entrada na turbina, para períodos acima de 12 meses de operação não deve exceder a pressão nominal.

Quando se mantém o valor médio a pressão não deve exceder 10% da pressão nominal, com exceções para valores instantâneos até 20% desde que o período total destes índices, para um período de 12 meses de operação, não exceda 12 horas.

Variações da temperatura:

A temperatura indicada em operação normal não deve exceder mais de 8°C. Em casos excepcionais, a temperatura do vapor poderá exceder em 14°C para períodos curtos, totalizando no máximo 400 horas para um período de 12 meses de operação .

Um acréscimo na temperatura nominal do vapor de 28°C é permissível, desde que não ultrapasse 15 minutos, totalizando no máximo 80 horas para um período de 12 meses de operação .

Linha de vapor

Para garantir um bom funcionamento da turbina e evitar danos à mesma, é necessário que as condições de vapor estejam dentro das especificações citadas e livre de condensado.

O condensado na linha de vapor pode proporcionar à turbina choques térmicos capazes de provocar danos extremamente sérios, como por exemplo, o empenamento do rotor. Para tanto, a TGM recomenda que as linhas de vapor sejam projetadas de maneira a eliminar todo o condensado que por ventura possa existir ou se formar ao longo da tubulação de vapor antes da turbina, instalando-se linhas de drenagem com purgadores em pontos específicos do encaminhamento e balão separador de umidade antes do flange de admissão da turbina.

A variação de temperatura admissível pela turbina, para que a mesma não sofra problemas de choques térmicos, é de 5°C/min.

Especificação para óleo de turbina a vapor

Para o sistema de regulação e lubrificação, deverá ser utilizado óleo mineral refinado que corresponda às exigências feitas na norma DIN 51515 e que deverá possuir as seguintes características:

Denominação	Exigências	Ensaio segundo
Tipo de óleo lubrificante	TD 68	
Classe de viscosidade ISO	ISO VG 68	DIN 51519
Nº característico (coordenação)	25	
Viscosidade cinemática a 40°C a 100°C	65,5 mm²/s (cSt) 8,7 mm²/s (cSt)	DIN 51550 em conjunto com DIN 51561 ou DIN 51562
Viscosidade dinâmica Média a 40°C	65,5 x 10 ⁻³ Pas	
Índice de viscosidade não inferior a	103	
Densidade a 15°C não superior a	0,9 Kg/l	DIN 51757
Ponto de fulgor no cadinho segundo Cleveland não inferior a	230°C	DIN 51376
Pourpoint igual ou inferior a	6°C	DIN 51597
Índice de neutralização não superior a	(+) 0,1 mgKOH/g óleo	DIN 51558 parte I
Índice de saponificação não superior a	(+) 0,15mgKOH/g óleo	DIN 51559
Teor de cinzas (cinza de óxido) não superior a	(+) 0,01% peso	
Teor de água g/100g	Abaixo do limite detectável	DIN 51582
Teor de substâncias sólidas estranhas g/100g	Abaixo do limite detectável	DIN 59592
Capacidade de separação de água (máx)	300 s	DIN 51589 partel
Capacidade de separação de ar a 50°C (máx)	5 min	DIN 51381
Efeito de corrosão em cobre - grau de corrosão (máx)	2	DIN 51759 (3h até 100°C)
Envelhecimento	2,0 mgKOH/g aceite	DIN 51587
Aumento de índice de neutralização após 1000 h	Grau 6-7	DIN 51354 (A/8, 3/90) ASTM D 1947-68
Capacidade de carga específica (engrenagem)	Teste normal FZG	IP 166/65

Estes valores são válidos para um óleo puramente mineral.

(+) Quando são utilizadas substâncias ativas os valores mencionados são ainda mais elevados. Eles devem ser indicados pelo fornecedor.

Óleo de substâncias ativas:

Contém substâncias de proteção contra o envelhecimento e corrosão, assim como eventualmente substâncias adicionais que evitam a espuma.

Para turbo-grupos com engrenagens submetidas a alta carga, pode ser necessário o uso de óleo com aditivos EP para aumentar a capacidade de carga específica. Para tal deve ser observada a prescrição de lubrificantes do fabricante de engrenagens.

Anexo D: Memorial Descritivo Referente ao Estudo do Balanço Energético

De acordo com os dados obtidos durante as visitas realizadas nos Grupos Penha e João Santos, foi possível estimar os investimentos necessários para a implantação e operação do cultivo do bambu voltado a produção de biomassa.

Item 2: Mudas

Mudas necessária: 408/ha

Área: 15.000 ha

Energia empregada na produção da muda (Guarnetti, 2007):

- 1) Plástico = 5g
- 2) Adubo Orgânico = 450 g

Total:

Item 9: Maquinário agrícola

Na exploração de 3 mil hectares de bambu, são utilizadas as seguintes máquinas:

3 tratores, 1 Bel, 1 pá carregadeira, 2 tratores (4x4), 7 Caminhões bitren

Considerando a exploração de 17.800 ha, segue a relação:

- k) 15 tratores
- l) 4 pás carregadeiras
- m) 30 caminhões
- n) 8 ônibus
- o) 2 Picadores

Maquinário

Adotou – se o trator do fabricante Massey Ferguson, modelo MF 290;86 hp. Massa = 4×10^6 g

Dados do fabricante.

Admite –se o trator sendo, 80% aço e 20% plástico. (Ulgiati, 2003)

Massa de aço = $(0,80 \times 4 \times 10^6 \text{ g}) = 3,2 \times 10^6 \text{ g} \times 57 = 180 \times 10^3 \text{ kg}$

Massa de plástico = $(0,20 \times 4 \times 10^6 \text{ g}) = 8 \times 10^5 \text{ g} \times 57 = 45 \times 10^3 \text{ kg}$

Item 11: Adubo

Recomendação do Grupo João Santos: 400 kg/ha

Considerando 17.800 ha,

Adubo total: 7 mil toneladas

Item 12: Calcário

O calcário será utilizado de acordo com a necessidade do solo. No grupo João Santos é utilizado em média 1200 kg/ha ano.

Considerando o cultivo de 17.800 ha;

Quantidade necessária: 21 mil toneladas;

Diesel

Transporte do picador até a planta industrial

Consumo anual da caldeira = 148.920 t/de cavaco;

Carga de cavaco = 50 t/viagem

Número de viagens = 3000

Distância das fazendas até a fábrica: 40 km é a mais distante, com 3.000 ha. As outras fazendas estão distantes em média 20 km.

Valor adotado: 25 km

O consumo médio dos caminhões: 1,6 km/l.

Diesel consumido por viagem (ida e volta) = 15,63 l

Viagens necessárias = 148.920 t/de cavaco/50 t = 3000

Diesel consumido: 45 mil litros

Ônibus

Trajeto diário considerado (ida e volta nas fazendas diariamente): 20 km

Dias úteis/ano: 240

km/ano rodado: 4800

Consumo: 1,6 km/l

Diesel/ano: 3 mil litros

Diesel consumido no picador

Demanda diária picada: 408 t/dia

Consumo: 30 l/h

Trabalha 20 horas diárias

Total no picador: 200 mil litros

Total (picador, ônibus e transporte da biomassa): 248 mil litros