

**FACULDADE DE ARACRUZ
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA AMBIENTAL**

TARCISO COLODETTI

**ANÁLISE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DO AUMENTO DA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO PÓLO MOVELEIRO DE LINHARES-ES**

**Aracruz
2011**

TARCISO COLODETTI

**ANÁLISE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DO AUMENTO DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NO PÓLO MOVELEIRO DE LINHARES-ES**

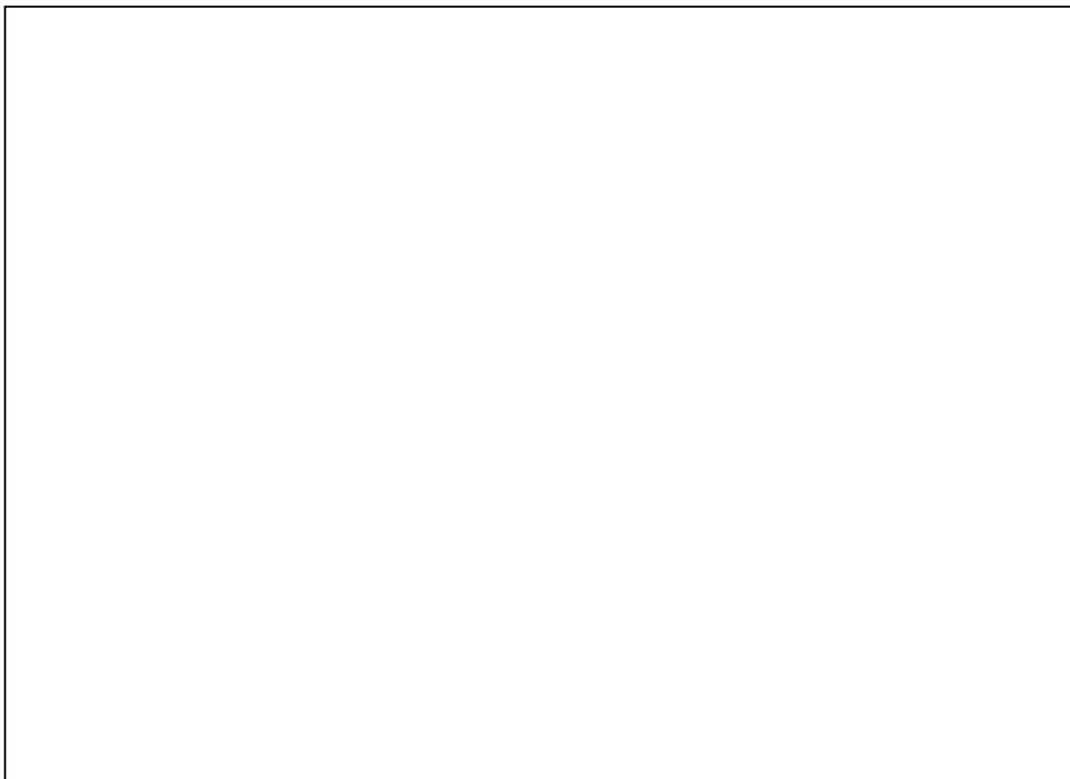
**Dissertação apresentada à Faculdade de
Aracruz para obtenção do título de Mestre
Profissional em Tecnologia Ambiental.**

**Área de Concentração: Engenharia
Ambiental.**

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo J. R. Silverio

**Aracruz
2011**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.



Nome: COLODETTI, Tarciso

Título: Análise técnica, econômica e ambiental do aumento da eficiência energética no pólo moveleiro de Linhares-ES

Dissertação apresentada à Faculdade de Aracruz
para obtenção do título de Mestre Profissional em
Tecnologia Ambiental
Área de concentração: Engenharia Ambiental

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Aos meus pais, Nadir e Mansueto por toda a ajuda, desde o início e, incansavelmente, até hoje.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rodolfo, pela atenção e apoio durante processo de definição e orientação.

À Faculdade de Aracruz pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Às fábricas A e B do pólo moveleiro de Linhares-ES pela oportunidade do estudo de caso.

A CAPES pelo investimento e incentivo.

Aos meus tios Ana e Clóvis e seus filhos pelo apoio nos estudos com o carinho e preocupação.

Ao meu primo André pelo apoio e orientação nos estudos termodinâmicos.

Ao meu filho Pedro pelo carinho, paciência, motivação e confiança.

“Uma mente que se abre a novas ideias não retorna ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

RESUMO

COLODETTI, Tarciso. **Análise técnica, econômica e ambiental do aumento da eficiência energética no pólo moveleiro de Linhares-ES.** 2011. 119 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Aracruz, Aracruz-ES, 2011.

Na indústria moveleira de Linhares-ES, a eletricidade é um insumo de grande participação na produção. Aproximadamente 15% do custo específico do produto acabado são provenientes dos custos com energia elétrica. A análise do uso eficiente da energia elétrica avalia pontos críticos de funcionamento e potenciais reduções de consumo de eletricidade na busca da redução do impacto ambiental com a emissão de CO₂. Neste sentido, o presente trabalho procura identificar as oportunidades de melhorias nos sistemas de fornecimento de energia, acionamento motriz e aproveitamento de resíduos. Para tanto foram efetuados diagnósticos energéticos de fornecimento e consumo de eletricidade de empresas pré-selecionadas e a modelagem termodinâmica de um ciclo Rankine para geração de eletricidade através do aproveitamento de resíduos do pólo moveleiro. Foi efetuada a avaliação econômica das soluções propostas e o estudo confirmou o uso eficiente dos motores e o aproveitamento de resíduos como formas econômica e ambientalmente viáveis para reduzir o consumo de eletricidade na fabricação de móveis e tornar o processo mais sustentável.

Palavras-chave: Eficiência energética. Motores. Aproveitamento de resíduos. Impacto ambiental.

ABSTRACT

COLODETTI, Tarciso. **Technical analysis, economic and environmental aspects of energy efficiency improvement in the furniture industry Linhares-ES.** 2011. 119 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Aracruz, Aracruz-ES, 2011.

In the furniture industry of Linhares-ES, electricity is a major input from participation in production. Approximately 15% of the specific cost of the finished product come from the electricity costs. The analysis of energy efficient evaluates critical points of operation and potential reductions in electricity consumption in the pursuit of reducing the environmental impact on CO₂ emissions. In this sense, this paper seeks to identify opportunities for improvements in the systems of power supply, motor and drive out waste recovery. Diagnoses were made for both energy supply and consumption of electricity from companies pre-selected and thermodynamic modeling of a Rankine cycle to generate electricity by harnessing the furniture industry waste. Economic evaluation was conducted of the proposed solutions and the study confirmed the efficiency of the engines and the use of waste as economically and environmentally viable ways to reduce electricity consumption in the manufacture of furniture and make the process more sustainable.

Keywords: Energy efficiency. Engines. Utilization of waste, Environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Móveis fabricados pelas fábricas A e B.	23
Figura 2 – Curva de consumo anual.	25
Figura 3 – Demanda ativa diária.	27
Figura 4 – Demanda Ativa Semanal.	28
Figura 5 – Demanda ativa do mês de Fevereiro.	29
Figura 6 – Demanda ativa anual, 2011.	30
Figura 7 – Matriz de Consumo Final de Energia elétrica por Setor – 2009.	35
Figura 8 – Consumo de energia elétrica no setor industrial – 2001.	36
Figura 9 – Distribuição do número de motores e da potência do sistema motriz.	36
Figura 10 – Distribuição percentual dos motores e da potência do sistema motriz.	37
Figura 11 – Exemplo de curva de demanda contratada e medida.	39
Figura 12 – Exemplo de curva de consumo de eletricidade.	40
Figura 13 – Rendimento máximo de um motor em função da potência nominal.	44
Figura 14 – Coeficiente multiplicador do rendimento em função do carregamento.	45
Figura 15 – Foto do motor da Moenga.	54
Figura 16 – Foto do motor do sistema de exaustão.	54
Figura 17 – Foto dos cabos de alimentação.	54
Figura 18 – Foto da caixa de ligação dos cabos de alimentação.	54
Figura 19 – Gráfico da linearização da curva de conjugado.	59
Figura 20 – Gráfico da linearização da curva de corrente.	61
Figura 21 – Curva de desempenho.	62
Figura 22 – Ciclo Rankine.	63
Figura 23 – Gráfico ciclo Rankine com superaquecimento.	64
Figura 24 – Diagnóstico energético.	79
Figura 25 – Fluxograma de trabalho de adequação tarifária.	81
Figura 26 – Fluxograma de trabalho de adequação motriz.	83
Figura 27 – Fluxograma de projeto de central termoeletrica.	85
Figura 28 – Demanda medida na fábrica A - 07/10/10.	88
Figura 29 – Demanda medida na fábrica B - 07/10/10.	89
Figura 30 – Demanda mensal registrada na fábrica A – 2010	90
Figura 31 – Demanda mensal registrada na fábrica B – 2010	91
Figura 32 – Curva de desempenho de motor de 75 [cv].	93

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Fator de carga no horário fora de ponta	41
Equação 2 – Fator de carga no horário de ponta	41
Equação 3 – Preço médio	41
Equação 4 – Índice de carregamento pelo método da rotação	58
Equação 5 – Índice de carregamento pelo método da corrente elétrica	59
Equação 6 – Conjugado de trabalho	60
Equação 7 – Conjugado nominal	60
Equação 8 – Potência de trabalho	60
Equação 9 – Índice de carregamento pelo método da linearização	60
Equação 10 – Rotação de trabalho	61
Equação 11 – Corrente em vazio	61
Equação 12 – Primeira Lei da Termodinâmica	65
Equação 13 – Taxa de trabalho	65
Equação 14 – Rendimento da caldeira	65
Equação 15 – Vazão mássica	65
Equação 16 – Taxa de energia	66
Equação 17 – Potência na bomba	66
Equação 18 – Rendimento da bomba	66
Equação 19 – Calor do combustível	67
Equação 20 – Taxa de transferência de calor	67
Equação 21 – Rendimento do ciclo	67
Equação 22 – Calor disponível no combustível	67
Equação 23 – Rendimento do ciclo termodinâmico	68
Equação 24 – Custo de equipamento	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Oferta de energia no Brasil.	32
Tabela 2 – Oferta de energia elétrica no Brasil – 2009.	34
Tabela 3 – Dados de placa dos motores dos exaustores.	53
Tabela 4 – Densidade estimada para as amostras.	56
Tabela 5 – Variação dos poderes caloríficos com a umidade da lenha.	56
Tabela 6 – Dados do Ciclo Rankine com superaquecimento.	57
Tabela 7 – Distribuição dos custos.	69
Tabela 8 – Fator de Emissão de CO ₂ /kWh/combustível.	72
Tabela 9 – Medidas de corrente elétrica.	92
Tabela 10 – Informações de saída dos motores do sistema de exaustão.	92
Tabela 11 – IC após adequação motriz.	94
Tabela 12 – Viabilidade econômica e ambiental da substituição de motores superdimensionados.	95
Tabela 13 – Eficiências energéticas dos Equipamentos.	96
Tabela 14 – Valor do Investimento.	97
Tabela 15 – Indicadores de viabilidade econômica.	98

LISTA DE SIGLAS

ABIM	Associação Brasileira da Indústria Moveleira
BEN	Balanço Energético Nacional
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CO ₂	Dióxido de Carbono
FC	Fator de Carga
GASENE	Gás Sudeste Nordeste
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLD	Gestão do Lado da Demanda
GLS	Gestão do Lado do Suprimento
IC	Índice de Carregamento
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
JRC	Joint Research Centre
MDL	Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
OEE	Oferta de Energia Elétrica
OIE	Oferta Interna de Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
OECD	Organização para Desenvolvimento e Crescimento Econômico
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PCI	Poder Calorífico Inferior

PCP	Planejamento, Controle e Produção
PCS	Poder Calorífico Superior
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
PM	Preço Médio
PROCEL	Programa de Conservação de Eletricidade
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINDIMOL	Sindicato Moveleiro de Linhares-ES
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	20
1.2 OBJETIVO GERAL	21
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2 LOCAL DA PESQUISA	22
3 FORNECIMENTO DE ENERGIA	25
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
4.1 ENERGIA NO BRASIL	31
4.2 TARIFAÇÃO	38
4.3 MOTORES DE INDUÇÃO	42
4.4 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS	46
4.5 IMPACTO AMBIENTAL	48
5 MATERIAIS E MÉTODOS	52
5.1 COLETA DE DADOS	52
5.2 ADEQUAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO MOTRIZ	58
5.2.1 <i>Método da Rotação</i>	58
5.2.2 <i>Método da corrente de linha</i>	58
5.2.3 <i>Método da linearização</i>	59
5.2.4 <i>Método da Curva de desempenho</i>	62
5.3 ANÁLISE ENERGÉTICA	63
5.4 ANÁLISE ECONÔMICA	68
5.5 ANÁLISE AMBIENTAL	70
6 METODOLOGIA	75
6.1 PERFIL DE CONSUMO	80
6.2 ÍNDICE DE CARREGAMENTO	82
6.3 CICLO RANKINE	84
6.4 VIABILIDADE ECONÔMICA	86
6.5 VIABILIDADE AMBIENTAL	86
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
7.1 CURVA DE CONSUMO	88
7.2 SISTEMA MOTRIZ	92
7.3 GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	95
7.4 COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA	99
8 CONCLUSÃO	100
9 RECOMENDAÇÕES	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS	107

1 INTRODUÇÃO

Proteger a natureza realizando crescimento social e financeiro com qualidade é o grande desafio dos seres humanos atualmente. A conscientização da necessidade de combater a degradação ambiental ganhou grande impulso após a constatação pela humanidade da sua agressão ao planeta como o impacto causado na camada de ozônio e o aumento da temperatura média do planeta em função do efeito estufa. É nesse contexto que o princípio do desenvolvimento sustentável se insere. Esse princípio considera a necessidade de se produzir riquezas para atender a uma população mundial crescente e diminuir a miséria ainda existente, sem que esse crescimento venha esgotar ou reduzir a disponibilidade de recursos naturais para as futuras gerações. A solução dessa equação sócio-ambiental exige uma nova atitude do mundo civilizado.

Com o advento da crise do petróleo, encadeada a partir da suspensão do embarque de combustíveis fósseis dos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) em outubro de 1973, que gerou grande repercussão na economia mundial, principalmente em países mais industrializados como os membros da Organização para Desenvolvimento e Crescimento Econômico (OECD).

No Brasil, a crise energética ocorrida no ano de 2001 mostrou a fragilidade da garantia no fornecimento de energia do país. As instalações não foram suficientes para atender o mercado com a falta de abastecimento dos reservatórios devido uma mudança no ritmo e períodos das chuvas neste ano. Atualmente, conforme Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do governo federal, a construção de usinas termelétricas na geração distribuída será a forma utilizada para garantir o fornecimento energético no território nacional.

Os transtornos e as preocupações com o futuro energético fizeram com que o problema da falta de energia deixasse de ser tratado como segundo plano das cogitações do comércio mundial. A competitividade das empresas, com a necessidade de produção cada vez mais enxuta faz da eletricidade um insumo de grande importância nos custos finais de um produto. O uso inadequado da

eletricidade gera problemas tanto para o mercado consumidor com prejuízos econômicos quanto à sociedade com impactos ambientais oriundos de suas atividades de geração, transmissão e distribuição.

No setor industrial, na busca do uso sustentável da energia elétrica, as medidas mais efetivas são a conscientização dos empregados quanto ao uso correto da energia, aproveitar oportunidades de cogeração, manter rotina de manutenção preventiva de equipamentos, uso de toda a instalação conforme características nominais de funcionamento, adequação da instalação ao ambiente e a adequação tarifária. A eficiência energética é a ferramenta na busca da redução do impacto ambiental, pois a adequação do uso da eletricidade na instalação ocasiona a diminuição de emissão de poluição na geração de eletricidade nas usinas do País.

A necessidade de mitigação de impactos ambientais relacionados à obtenção de energia e a busca por sustentabilidade geram discussões mundiais, envolvendo interesses econômicos, sociais e, principalmente, ambientais. O uso eficiente de energia em motores vem mostrar o real benefício de medidas de eficiência energética com a adequação do consumo nas fábricas. O aproveitamento dos resíduos do processo para geração renovável própria também se mostra energética e ambientalmente atrativa, pois a redução do consumo de energia nas fábricas está diretamente ligada à queima de combustíveis fósseis e a emissão de poluentes e gases que geram o de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), em termoelétricas. O uso eficiente de eletricidade no sistema motriz bem como o aproveitamento de resíduos nas indústrias são ferramentas importantes na redução de CO₂, crises energéticas e ambientais.

O planejamento energético passou a ser integrado, englobando o uso final da energia, chamado Gestão do Lado da Demanda (GLD) e os recursos energéticos, chamada de Gestão do Lado do Suprimento (GLS). A GLD atua diretamente na curva de carga de determinada concessionária de energia elétrica. Como exemplos de ações para diminuição da demanda na fabricação de móveis citam-se, por exemplo, o uso mais eficiente no acionamento de motores elétricos, iluminação, exaustão, ar comprimido e acondicionamento ambiental. Neste cenário, a adequação da força motriz nos usos finais da fabricação de móveis é uma forma eficiente e de baixo investimento na busca do uso adequado da eletricidade com a

diminuição dos custos e redução do impacto ambiental devido à emissão de CO₂ em termoelétricas conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Na fabricação nacional de móveis, a partir de madeira pré moldada, em geral, necessitam ser furadas, lixadas, bordadas e pintadas para que as peças tenham os tamanhos e modelos específicos. A utilização de eletricidade no processo representa 15% do custo específico de um móvel, conforme informação das empresas analisadas. Em uma fábrica de móveis existem motores em funcionamento, tais como os do sistema de esteiras, furadeiras, lixas, ventilação, exaustão e compressão. Nas indústrias moveleiras um dos fatores determinantes na maximização do lucro é a racionalização do uso de energia na produção. Os motores elétricos das empresas representam cerca de 90% da carga total instalada e é responsável por aproximadamente 80% do consumo de eletricidade da instalação. Neste trabalho será analisado o sistema motriz de duas fábricas com processos contínuos do pólo moveleiro de Linhares-ES.

As empresas analisadas possuem motores elétricos em ampla faixa de potências nominais, variando desde potências fracionárias até 125 [cv]. O setor de Exaustão analisado neste trabalho possui 8% da quantidade de motores e concentra 20% da carga de força motriz das fábricas. A análise da eficiência energética no sistema motriz será feita a partir da determinação do Índice de Carregamento dos motores (IC). Será utilizada uma metodologia com análise de campo, medidas de funcionamento e cálculos de otimização do dimensionamento de motores. Com o objetivo de racionalizar o uso da energia elétrica, realizou-se o estudo de adequação de força motriz nestes equipamentos devido a sua significativa participação no consumo de eletricidade da instalação.

Conforme Latorre (1990), “em estudos sobre o uso de força motriz nas indústrias brasileiras, abrangendo cerca de 50.000 motores, concluíram que cerca de 50% dos motores operavam com IC abaixo de 80%”. Constatou-se, ainda, que cerca de 24,1% do total de motores analisados em nível nacional, estavam operando com 60% de carregamento, no máximo. Este fato caracteriza o grande potencial de racionalização do uso de energia elétrica no setor industrial brasileiro.

Por outro lado, a GLS visa racionalizar o uso da energia elétrica pelo lado do suprimento de energia, englobando medidas como a construção e ampliação de

unidades geradoras, subestações e linhas de transmissão. É neste contexto que a utilização de resíduos de madeira da linha de produção é uma medida de conservação de energia, ou seja, aproveitar o resíduo em detrimento do consumo de energia elétrica do SIN.

A importância da autoprodução de eletricidade e a busca de alternativas para a redução dos impactos ambientais é uma medida de grande relevância no incremento do potencial de aplicação da biomassa no setor de energia. A biomassa permite a expansão da capacidade de geração elétrica, principalmente nos países em desenvolvimento, pois dessa forma pode-se, a partir de resíduos da própria empresa, obter energia que hoje é um dos principais requisitos para a expansão da produção sem provocar desempregos, cortes de investimentos e outras formas de redução de custos a fim de compensar o maior investimento com energia. Neste contexto, deve-se destacar a utilização de termelétricas movidas à biomassa que se ajusta aos programas de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL).

A indústria da madeira procura empregar um processo integrado, limpo e sem desperdícios, utilizando todas as partes da madeira para a produção. A serragem é biomassa e é utilizada para a produção de calor e vapor para os processos de produção e também como fonte de energia consumida pela empresa. A tendência é de que o interesse pela cogeração de energia aumente entre as indústrias. No caso do setor moveleiro de Linhares, apenas uma empresa tem geração própria de energia, pois são micro e pequenas empresas e possuem pouca disponibilidade de resíduos para uma geração que viabilize o projeto de implantação de uma unidade geradora. Assim, este trabalho mostra um levantamento do potencial de instalação de uma central geradora de eletricidade utilizando como fonte de combustível os resíduos de madeira de 57 fábricas do pólo moveleiro de Linhares-ES.

A elaboração de um contrato de fornecimento de energia elétrica mais conveniente para a unidade consumidora, considerando o seu regime de funcionamento, a possibilidade de se fazer modulação de carga e a geração própria são de extrema importância, pois permite contratar a real necessidade de consumo, evitando prejuízos e multas, assim como comercializar os excedentes da geração.

Neste estudo a hipótese é analisar propostas de aumento de eficiência energética tanto na demanda como no suprimento. Pelo lado da demanda, a análise

do dimensionamento motriz demonstra a importância desta metodologia na elaboração de planos de redução do impacto ambiental com a diminuição do consumo de eletricidade. E a quantidade de resíduos de madeira da produção moveleira, o alto custo com transporte necessário à destinação final e o impacto ambiental com a disposição em local a céu aberto favorece a implantação de uma unidade geradora de eletricidade como medida de GLS. A utilização de medidas de eficiência energética como ferramenta na redução do impacto ambiental e aumento dos ganhos para a empresa se mostra uma forma sustentável de buscar maior competitividade no mercado cada vez mais exigente.

1.1 Justificativa

O desenvolvimento econômico do Brasil está diretamente relacionado com a capacidade de atender a demanda de energia. A infra-estrutura e oferta de energia elétrica do país devem ser capazes de absorver e garantir novas e atuais demandas sem que haja risco de falhas no fornecimento.

No processo de fabricação de móveis a parcela do consumo de eletricidade com motores elétricos é significativa podendo ser foco de estudos de uso eficiente de eletricidade.

O aproveitamento da madeira é uma medida ambiental de destinação do resíduo do processo de fabricação de móveis para a geração de eletricidade. Utilizar os resíduos é uma forma de garantir a sustentabilidade do processo aumentando a eficiência energética.

O uso sustentável de eletricidade na indústria moveleira reduz o custo unitário do produto e o impacto ambiental na emissão de CO₂ à atmosfera na geração em usinas termoelétricas.

1.2 Objetivo geral

Avaliar técnica, econômica e ambientalmente o aumento da eficiência energética com a adequação do sistema motriz e a recuperação de energia dos resíduos do processo no pólo moveleiro de Linhares-ES.

1.3 Objetivos específicos

- Estimar o perfil de consumo de eletricidade na fabricação de móveis a partir dos dados obtidos através das medições em duas fábricas padrões do pólo moveleiro de Linhares-ES, comparando o contrato de fornecimento de energia elétrica junto à concessionária ao perfil real de consumo da fábrica;
- Identificar o IC de motores de indução e estimar o desperdício de eletricidade;
- Estimar a quantidade de resíduo disponível no Pólo e a capacidade energética do mesmo;
- Analisar tecnicamente a geração de energia elétrica através de um ciclo Rankine com superaquecimento utilizando os rejeitos do processo;
- Estimar a viabilidade econômica da adequação da força motriz e da geração de energia confrontando com a venda da energia gerada;
- Estimar o potencial de redução de emissão de CO₂ com propostas de aumento de eficiência energética.

2 LOCAL DA PESQUISA

O trabalho de redução de impacto ambiental com o aumento da eficiência energética no pólo moveleiro de Linhares foi realizado nas instalações de 2 fábricas do pólo, denominadas A e B, para a análise de consumo de energia e dimensionamento motriz e, em 57 fábricas para o estudo do aproveitamento de resíduos.

A fábrica A utiliza chapas de madeira-aglomerada e produziu 30000 produtos durante os últimos 10 meses e a fábrica B utiliza chapas de madeira-MDF e produziu 19000 produtos no mesmo período. Para serem feitas análises e comparações de resultados de eficiência energética é importante que as empresas tenham seus sistemas de produção devidamente organizados, para que um perfil de consumo seja vislumbrado, ou seja, com linhas de processo contínuas e enxutas. Empresas que buscam a melhoria da qualidade total utilizando métodos e ferramentas de organização e gestão da produção, conforme certificados de qualidade adquiridos propiciam um maior número de análises de resultados de eficiência energética. Empresas com linhas de processos irregulares, com variações da curva de consumo, dificultam a análise de todas as possíveis medidas de conservação de energia.

O correto funcionamento, dimensionamento e tecnologia dos equipamentos às atividades de produção da fábrica somado ao fluxo ideal de produção para a demanda contratada junto à concessionária e a manutenção da disponibilidade dos equipamentos são as metas da gestão da energia. A correta utilização da instalação como um todo, englobando a qualidade da prestação dos serviços de gestão de energia, produção e manutenção é a forma ideal de garantir o funcionamento e consumo de insumos com consciência.

Os departamentos de Planejamento, Controle e Produção (PCP) das empresas A e B estão voltados para a redução dos custos e melhor aproveitamento das máquinas, buscando o melhor mix de produção. A eficiência energética começa nas programações de produção, ou seja, quando se consegue usar a instalação

para o processo a ponto de manter a curva de consumo igual da curva de fornecimento de energia contratada da concessionária, pode-se comparar os resultados dos estudos de eficiência energética e verificar sua viabilidade.

As fábricas possuem suas linhas de produção semelhantes, somente mudando a quantidade e tecnologia dos equipamentos devidos terem capacidades diferentes de produção. Assim, a quantidade de resíduos gerados também é diferente. As fábricas A e B podem ser divididas nos setores de almoxarifado, corte, usinagem, pintura, embalagem e expedição.

No setor de Almoxarifado a matéria prima fica armazenada, as chapas de madeira a serem utilizadas na fabricação das peças que compõem um produto acabado podendo ser Camas Bibox, Camas Casal, Camas Solteiro, Cômodas, Criados, Cadeiras, Mesas, Moldura e Buffets ficam estocadas no pátio de armazenamento. Ainda fica todo o material de insumo necessário à produção como bordas, colas, tintas, vernizes, parafusos e miscelâneas. Todo o cronograma de encaminhamento dos materiais aos setores da produção é elaborado pelo departamento de PCP da empresa. Isto torna o trabalho do departamento de almoxarifado eficiente e enxuto no que diz respeito ao fluxo de informação para assegurar o início e a continuidade do processo de fabricação de móveis. A figura 1 abaixo mostra modelos de produtos fabricados nas duas empresas analisadas:



Figura 1 - Móveis fabricados pelas fábricas A e B. Fonte: Resultado do trabalho.

No setor de Corte é onde acontece a primeira transformação da madeira em peças para fabricação de móveis. A matéria prima é cortada em tamanhos definidos para iniciar o processo. É realizado o serviço utilizando um plano de corte elaborado pelo PCP e este é executado no equipamento chamado “Seccionadora”.

No setor de Usinagem acontecem todas as transformações que torna uma folha de madeira em uma peça de um produto de uma fábrica de móveis. É onde acontecem os cortes sob medida, as furações, ranhuras, arredondamentos, esquadrejamentos e polimento. Máquinas com Controle Numérico Computadorizado (CNC) executam todas as atividades em uma mesma peça com grande minúcia.

No setor de Pintura acontece a última transformação na peça. A linha de processo de pintura, também chamada de “linha de “UV” começa com os rolos de lixas e aplicação de massa que linearizam a superfície. Em seguida as peças são pintadas e secas por radiação ultravioleta. Finalmente, utiliza-se o verniz com a função de brilho e preservação. Todos os produtos (massa, tinta e verniz) possuem um elemento ativo chamado de “foto iniciador” que é ativado com a radiação ultravioleta das lâmpadas e assim, secam os produtos do processo. A participação no consumo de eletricidade nestas lâmpadas é alta e seu consumo de energia reativa é o mais significativo nas fábricas. No entanto, as fábricas A e B possuem banco de capacitores que mantém o consumo de reativos no limite estabelecido de 0,92 conforme resolução 414/2010 da Aneel.

No setor de Embalagem as peças são vistoriadas, separadas por lotes e organizadas para serem embaladas conforme plano de trabalho e acondicionadas no setor de Expedição onde se encontram os produtos a serem entregues ao mercado lojista.

O departamento de manutenção possui grandes responsabilidades no que diz respeito à conservação, disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos buscando aumentar as horas trabalhadas e sua vida útil, reduzindo falhas e paradas. As duas empresas possuem seus departamentos de manutenção voltados para a prevenção. No entanto, somente a empresa B possui um sistema de documentação elaborada para a gestão de qualidade do setor. Existem rotinas programação diária, mensal, semestral e anual da realização das atividades de manutenção preventiva buscando reduzir o tempo de paradas não programadas na linha de produção. A fábrica A está em processo de aquisição de um software de manutenção que potencialize o processo de controle de manutenção.

3 FORNECIMENTO DE ENERGIA

As fábricas A e B possuem a estrutura tarifária horo-sazonal Verde. A tensão de fornecimento da concessionária é de 13,8 k[V] conforme subgrupo A4 e seu consumo é em 220, 380 e 440 [V] nos elementos consumidores das fábricas. A demanda contratada é de 1000 e 600 k[W] nas fábricas A e B, respectivamente. As tarifas de consumo de energia (R\$/k[Wh]) e demanda de potência (R\$/k[W]) são mostradas no Anexo A. O gráfico da figura 2 abaixo mostra os gastos com eletricidade nas fábricas A e B no período de fevereiro à novembro de 2010:

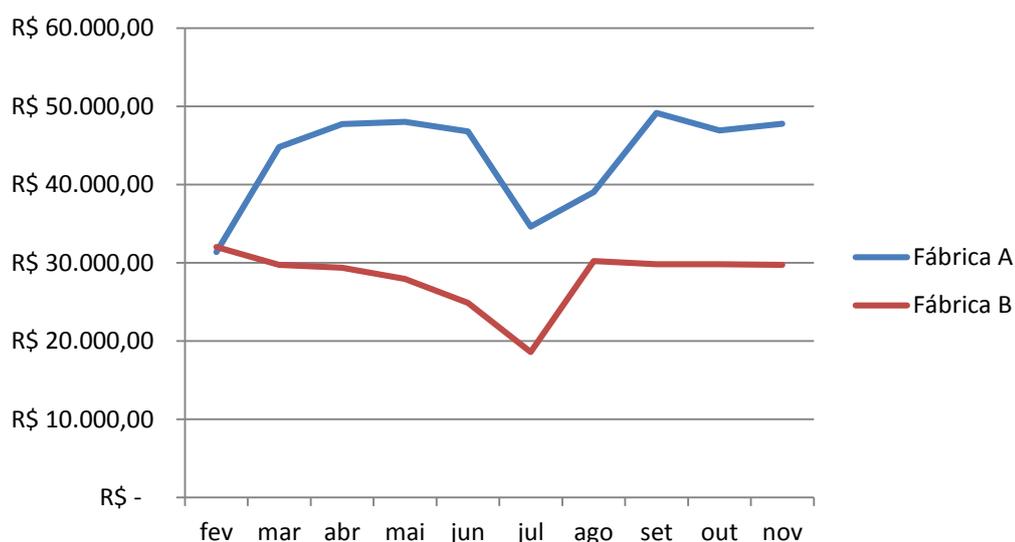


Figura 2 - Curva de consumo anual. Fonte: Dados da pesquisa.

A análise da conta de energia mostra o perfil de gastos com eletricidade de uma instalação na sua produção. O setor moveleiro possui grandes variações de volume de produção durante o período analisado. É possível verificar com o gráfico da figura acima que a fábrica A teve um pico de consumo no mês de setembro com o valor da fatura em R\$ 49.153,00 e a menor conta com eletricidade foi no mês de fevereiro com o valor de R\$ 31.368,00, possuindo grandes variações de produção durante todo o ano. A fábrica B teve seu pico de consumo no mês de fevereiro com o valor de R\$ 32.013,00 e o menor consumo no mês de julho com o valor de R\$ 18.600,00 conseguindo manter um mix de produção e os gastos com consumo de

eletricidade linear no período de março até maio e no período de agosto até novembro de 2010. Com base dos valores da figura 2 acima é possível, com a continuidade dos estudos do diagnóstico energético, verificar a economia de eletricidade utilizando as faturas de energia antes e depois das medidas de efficientização no dimensionamento das cargas e no aproveitamento dos resíduos na geração de eletricidade e posterior venda ao SIN.

O perfil de consumo de eletricidade de uma fábrica de móveis do setor moveleiro de Linhares-ES para o período diário, semanal, mensal e anual de consumo de energia é mostrado a partir dos gráficos gerados pelo software Webenergy. O tempo de funcionamento diário das fábricas é o mesmo, 8 horas. Iniciam suas atividades às 8:00h e terminam às 18:00h todos os dias úteis da semana. Funcionando aos sábados somente para resolver pendências e concluir pedidos de clientes. Por este motivo, as duas fábricas possuem um baixo aproveitamento da instalação junto ao contrato de fornecimento devido ao funcionamento ser restrito no horário comercial ocasionando a elevação no custo da energia junto à concessionária. A figura 3 abaixo mostra a curva de demanda diária, em intervalos de 15 minutos, conforme leitura da concessionária:

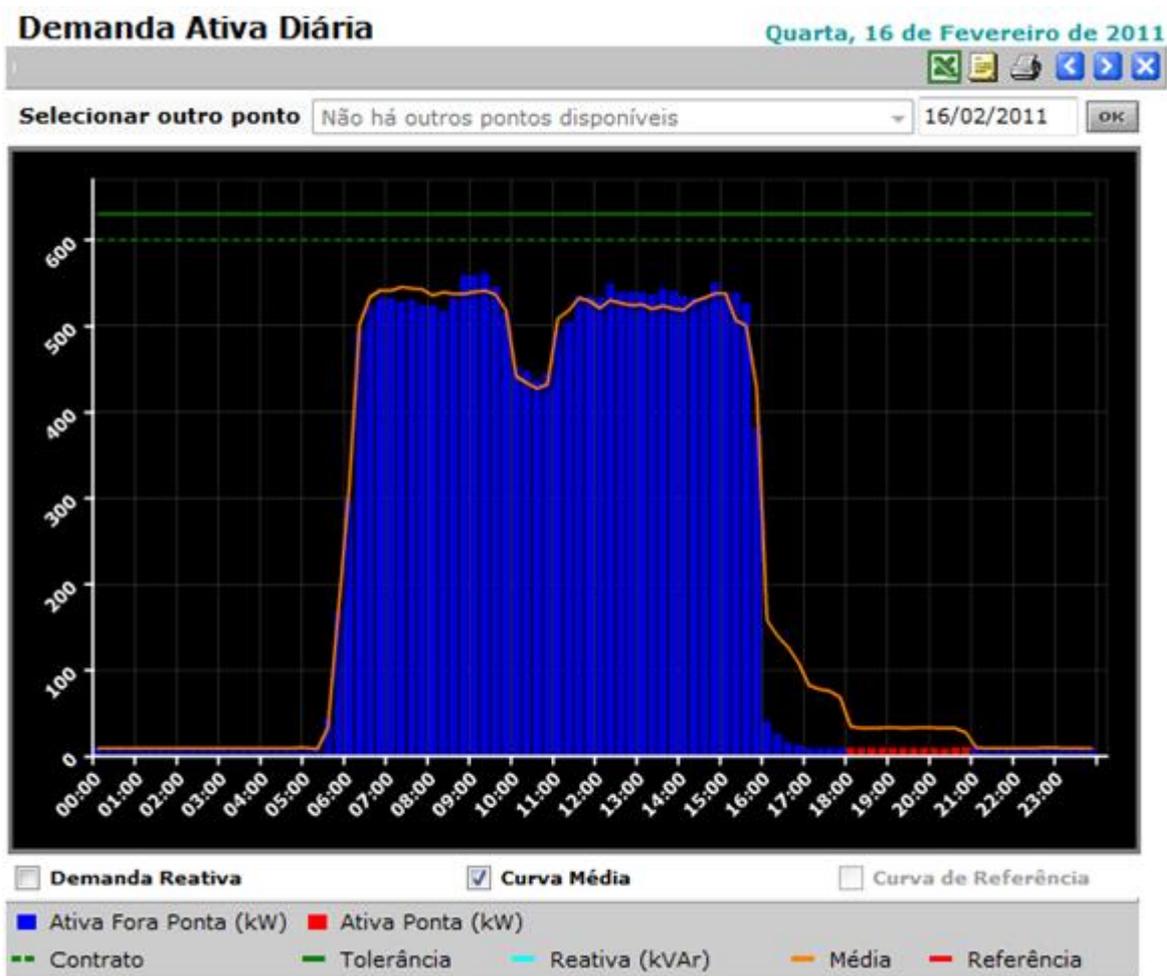


Figura 3 - Demanda ativa diária. Fonte: Software Webenergy .

O gráfico mostra uma linearização inadequada da curva de consumo que reflete a má sintonia do fluxo de materiais e produção com a demanda contratada no período de um dia. No entanto, esse fato é devido ao horário de funcionamento na instalação ser restrito ao horário comercial. Para trabalhos de adequação tarifária é importante buscar um perfil que represente melhor o funcionamento da fábrica, assim, a figura 4 abaixo mostra a curva de demanda medida em relação à demanda contratada no período de uma semana:

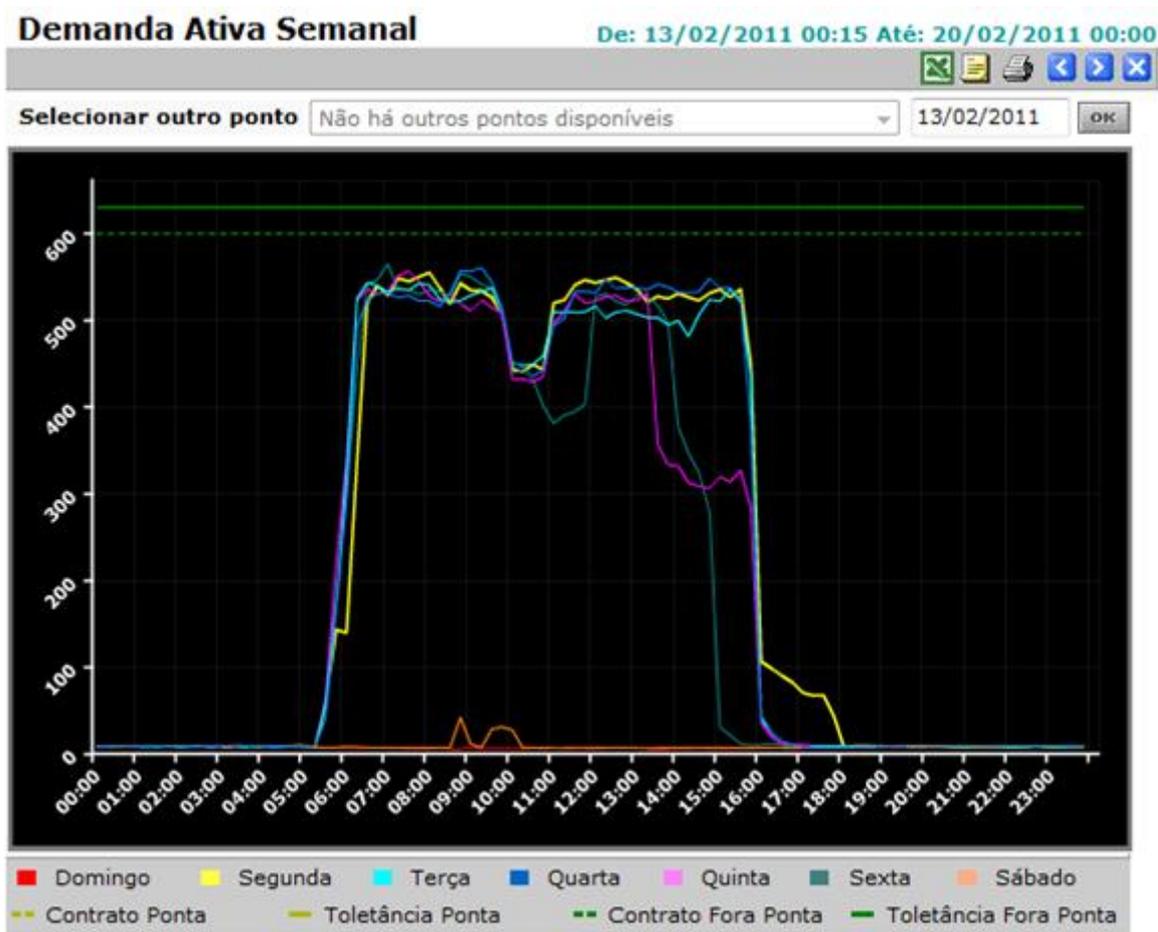


Figura 4 - Demanda Ativa Semanal. Fonte: Software Webenergy.

A figura 4 acima mostra o comportamento de demanda durante o período de 13/02/11 à 20/02/11, com medidas diárias, para que se possa alcançar uma maior exatidão do perfil de consumo. É possível observar que a curva de demanda é semelhante em todos os dias, apenas alterando na continuidade dos trabalhos no fim do período vespertino na quinta e sexta-feira. A curva mostra a queda da curva de demanda devido ao mix de produção com o desligamento de equipamentos na linha de processo. A análise da curva de demanda do período mensal mostra o perfil da utilização dos equipamentos dentro da instalação conforme pode ser visto na figura 5 abaixo:

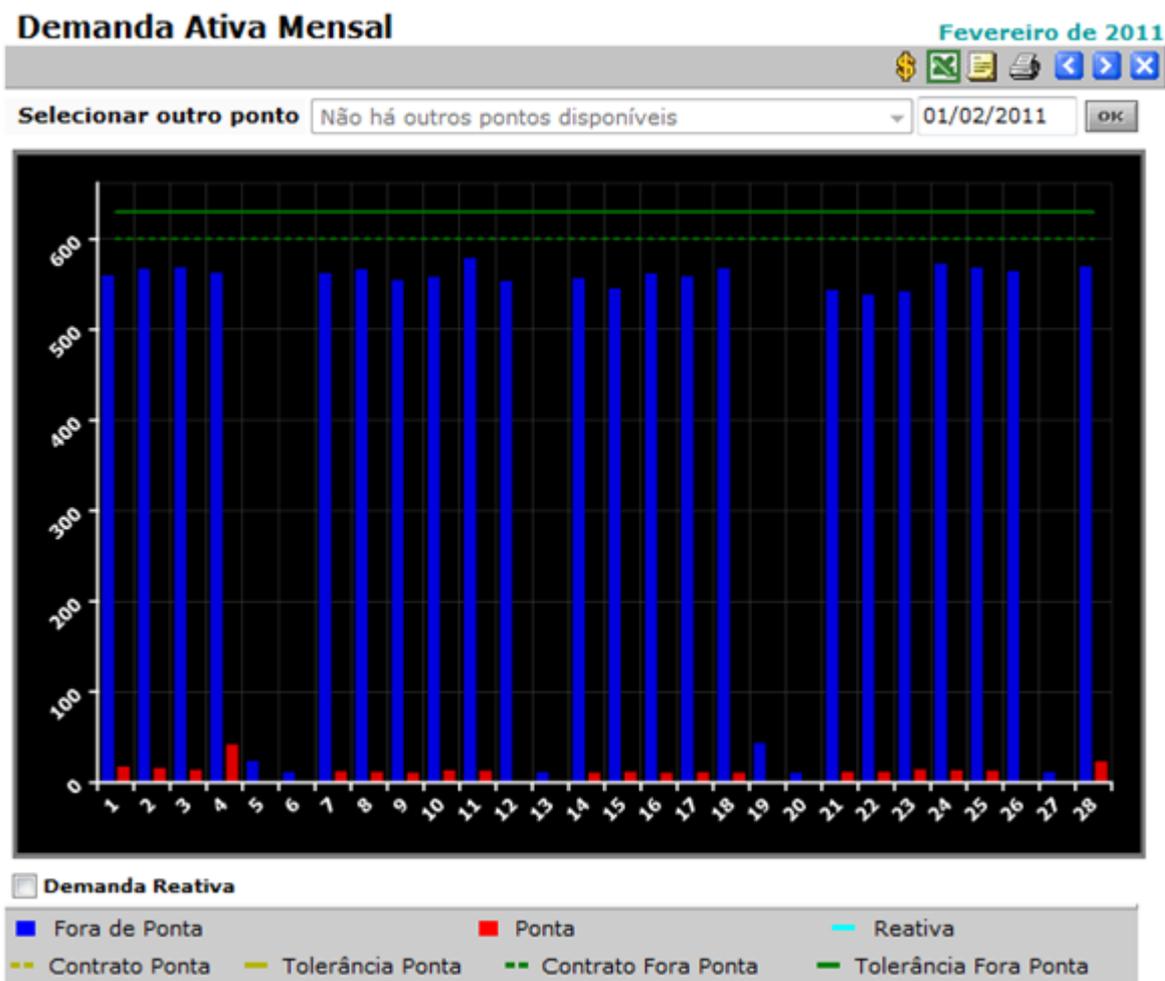


Figura 5 - Demanda ativa do mês de Fevereiro. Fonte: Software Webenergy.

A figura 5 acima mostra o perfil de demanda da empresa durante o mês de fevereiro de 2011. Observa-se na demanda medida, em todos os intervalos de medição, a existência de ociosidade do sistema elétrico resultando em gastos com uma energia contratada acima da necessária. As informações deste gráfico mostram o comportamento da linha de produção ao setor de PCP, onde alterações no mix de produtos podem levar a uma curva mais próxima da demanda contratada. O gráfico da figura abaixo mostra o perfil de demanda medida e contratada no ano de 2010:

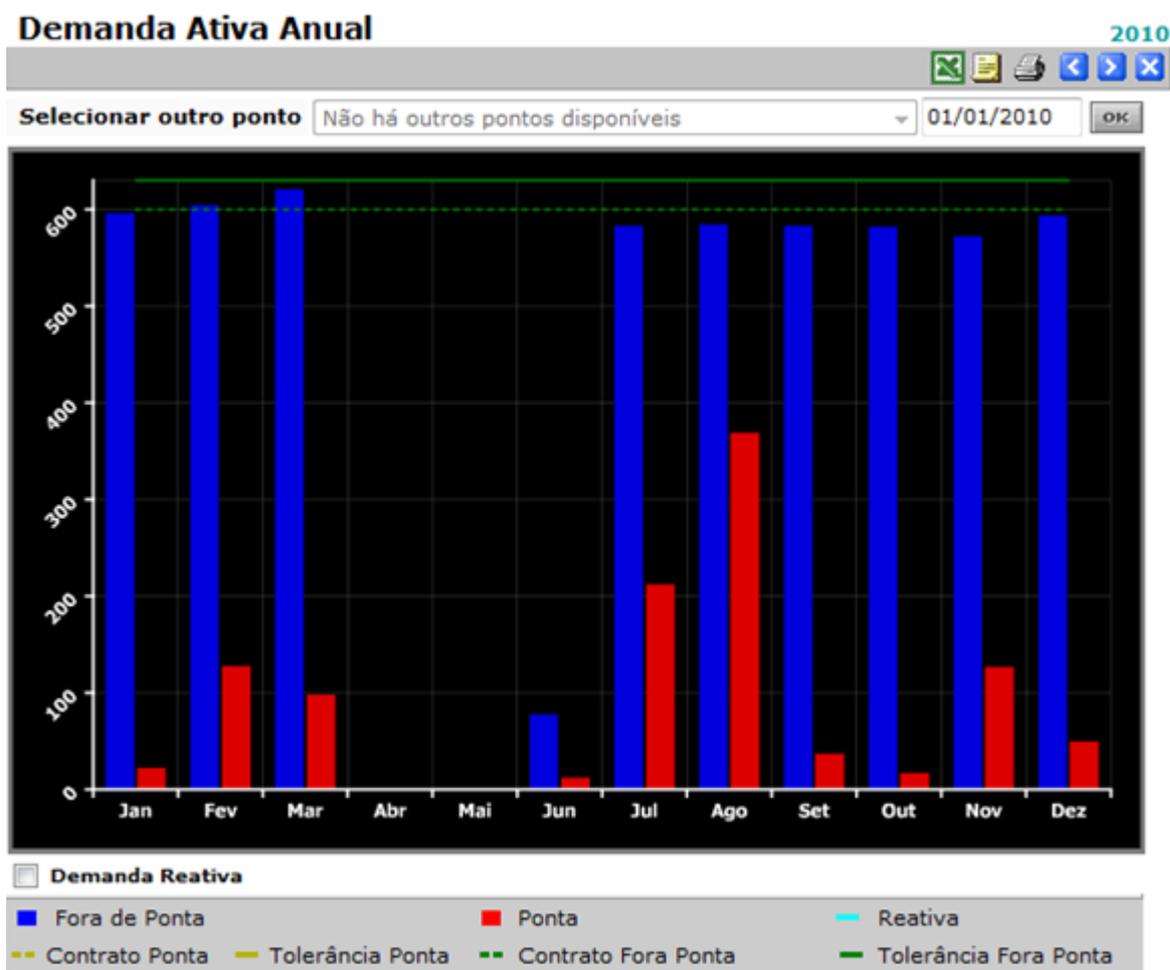


Figura 6 - Demanda ativa anual, 2010. Fonte: Software Webenergy.

Como pode ser verificado no gráfico da figura acima, a demanda por energia está próxima da contratada chegando a ultrapassá-la no mês de março de 2010. Nos meses de abril e maio não foram feitas medidas. Os valores medidos mostram que a demanda contratada está sempre próxima demonstrando que o sistema de gestão de energia atual está em conformidade com o perfil de funcionamento.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Energia no Brasil

A energia é essencial à sobrevivência humana. Sua utilização de maneira racional pode representar mais do que valores financeiros, pode representar a continuidade da própria vida, pois quando se utiliza um recurso de maneira correta, se está preservando sua durabilidade. Como afirma Haddad, Jamil, et. al “utilizar a energia com responsabilidade, sem desperdício, constitui um novo parâmetro a ser considerado no exercício da cidadania”.

Nos dizeres de Guardia, C. Eduardo (2007)

[...] entre os vários custos gerenciáveis em uma empresa, seja do setor industrial ou comercial, a energia vem assumindo, cada vez mais, uma importância crescente, motivada pela redução de custos decorrentes do mercado competitivo, pelas incertezas da disponibilidade energética ou por restrições ambientais.

Neste cenário, o uso eficiente de energia é uma ação necessária que tem como objetivo aumentar o rendimento e melhorar o uso da energia, isto é, obter o mesmo trabalho e produto final utilizando para isso menos energia, sem prejudicar a qualidade do produto ou serviço, resultando em redução do impacto ambiental.

Conforme Franco, G. Fernando (2004)

Estudos científicos já mostraram os terríveis impactos causados no meio ambiente pela geração energia elétrica, seja ela pela forma hidráulica devido às barragens e imensas áreas inundadas, seja pela forma térmica, com a queima de combustíveis fósseis despejando milhões de toneladas de poluentes na atmosfera, agravando o efeito estufa e as chuvas ácidas. Há, ainda, o problema da geração por via nuclear, onde, independentemente das questões de segurança, existe o crescente problema do acúmulo dos rejeitos radioativos

Conforme Menkes (2004), “o objetivo de toda política energética deve ser contribuir para o desenvolvimento sustentável da sociedade”. De todas as opções de políticas energéticas, o desenvolvimento de fontes de energia renováveis e a adoção

da eficiência energética são, sem dúvida, os instrumentos mais afinados aos critérios do desenvolvimento sustentável.

Soluções simples de eficiência energética estão inseridas no comportamento das pessoas nos locais de trabalho como desligar as lâmpadas em locais inutilizados, instalação de timer's e sensores de presença para iluminação e termostatos para refrigeração nos ambientes, instalação de equipamentos de monitoramento e gerenciamento de energia são medidas que possuem potenciais de economia. Conforme estudo da companhia energética E.ON, no reino unido, as pequenas empresas estão perdendo as potenciais economias de mais de 7,7 bilhões de libras por não investirem em medidas de eficiência energética. A pesquisa realizada pela empresa indica que cerca de 4 milhões das 4,8 milhões de pequenas empresas do país não investem em medidas simples de economia de energia.

De qualquer forma, seja qual for a motivação, promover a eficiência energética é essencialmente usar o conhecimento de forma aplicada, empregando os conceitos da engenharia, economia e administração aos sistemas energéticos. Contudo, dada a diversidade e complexidade desses sistemas, é interessante apresentar técnicas e métodos para definir objetivos e ações para melhorar o desempenho energético e reduzir as perdas e impactos ambientais nos processos de armazenamento, transporte, distribuição e consumo de energia.

Conforme Balanço Energético Nacional (BEN 2010) foi concluído o levantamento que compõem uma idéia concisa da Oferta Interna de Energia (OIE). Tais levantamentos indicam que a demanda total de energia no Brasil atingiu 243,679 milhões de tonelada equivalente de petróleo (tep), montante 3,5% inferior à demanda verificada em 2008. A Tabela 1 abaixo faz um resumo da OIE do Brasil:

Tabela 1 - Oferta de energia no Brasil. Fonte: BEN 2010.

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		09/08 %	Estrutura %	
	2008	2009		2008	2009
NÃO-RENOVÁVEL	136.616	128.726	-5,8	54,1	52,8
PETRÓLEO E DERIVADOS	92.410	92.263	-0,2	36,6	37,9
GÁS NATURAL	25.934	21.329	-17,8	10,3	8,8
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	14.562	11.706	-19,6	5,8	4,8
URÂNIO (U3O8) E DERIVADOS	3.709	3.428	-7,6	1,5	1,4
RENOVÁVEL	115.981	114.953	-0,9	45,9	47,2
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	35.412	37.036	4,6	14,0	15,2
LENHA E CARVÃO VEGETAL	29.227	24.610	-15,8	11,6	10,1
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	42.866	43.971	2,6	17,0	18,0
OUTRAS RENOVÁVEIS	8.475	9.336	10,2	3,4	3,8
TOTAL	252.596	243.679	-3,5	100,0	100,0

A tabela acima mostra a composição da OIE de 2009 e 2008, na qual se observa um crescimento da participação das fontes renováveis de energia. De fato, enquanto a oferta total de energia recua 3,5%, as fontes renováveis recuam apenas 0,9%. Analisando as energias renováveis, apenas a lenha e carvão vegetal apresentam crescimento negativo, em razão, principalmente da forte queda na produção de ferro gusa a base de carvão vegetal.

O agregado “outras renováveis” apresenta um ótimo desempenho, de 10,2% sobre 2008, devido ao aumento de 38% da produção de biodiesel, além de boas performances da geração eólica e do uso de lixívia na produção de celulose. Nas fontes não renováveis, o carvão mineral e o gás natural acompanharam as fortes quedas registradas na produção de aço e na geração de eletricidade.

Neste contexto, as fontes renováveis passaram a uma participação de 47,2% na oferta total de energia de 2009, contra os 45,9% verificados em 2008. A proposta de geração distribuída no país aumenta a possibilidade de geração de pequeno e médio porte em termoelétricas à biomassa. A expectativa é que a participação da biomassa aumente para 24% na matriz energética no país em 2030 conforme BEN em suas perspectivas.

Analisando especificamente a energia elétrica, conforme a tabela 2 a seguir, a versão preliminar da Oferta de Energia Elétrica (OEE) do país em 2009 mostra crescimento de 0,1% em relação a 2008, atingindo um montante de 505,8 TWh. Na composição da OEE, os destaques ficam com os incrementos da geração hidráulica com 5,8% e da biomassa com 15,5%. As outras fontes tiveram redução na participação da estrutura de oferta de eletricidade com queda de 14,9% do gás

industrial, 18,6% dos derivados de petróleo, 16% do carvão mineral, 7,2% da energia nuclear e 53,7 de gás natural.

Tabela 2 - Oferta de energia elétrica no Brasil – 2009. Fonte, BEN 2010.

ESPECIFICAÇÃO	GWh		09/08 %	Estrutura (%)	
	2008	2009		2008	2009
HIDRO	369.556	390.988	5,8	73,1	77,3
NUCLEAR	13.969	12.957	-7,2	2,8	2,6
GÁS NATURAL	28.778	13.332	-53,7	5,7	2,6
CARVÃO MINERAL	6.206	5.214	-16,0	1,2	1,0
DERIVADOS DE PETRÓLEO	15.628	12.724	-18,6	3,1	2,5
BIOMASSA	20.681	23.877	15,5	4,1	4,7
GÁS INDUSTRIAL	8.301	7.066	-14,9	1,6	1,4
IMPORTAÇÃO	42.211	39.666	-6,0	8,4	7,8
TOTAL	505.331	505.824	0,1	100,0	100,0

De fato, o expressivo aumento da geração hidráulica (5,8%) e a forte redução da geração térmica, proporcionaram maior transferência de cargas entre as usinas e os locais de consumo, o que resultou em maiores perdas relativas na transmissão.

O recuo de 53,7% na geração por gás natural foi marcante em 2009. A participação do gás natural parece ser pequena, no entanto, devido à facilidade de se construir usinas termoelétricas próximas aos centros consumidores torna atraente os investimentos na geração distribuída de eletricidade baseada no gás natural. Atualmente, o Brasil vem investindo em uma malha de gasodutos que interligam centros consumidores, refinarias e centros de extração no litoral do país como a linha Gás Sudeste Nordeste (GASENE).

Conforme Gabrielli (2011), com relação às fontes de energia alternativas, o presidente da Petrobrás lembrou que todas são necessárias. Mas alertou que “o tamanho do desafio é muito grande para que pensemos que a saída é uma só”. Segundo o presidente se for somada hoje toda a geração de energia por fontes alternativas chega-se a 0,9% da matriz energética mundial, enquanto a energia gerada por carvão, petróleo e gás natural representa dois terços. “Se as fontes de energia alternativas, como eólica e de ondas, crescerem dez vezes mais rápido do que estão crescendo, nos próximos anos, chegarão a apenas 10% do total gerado”, disse.

No caso da biomassa, o destaque fica pelo aumento da geração a bagaço de cana. De acordo com os dados preliminares obtidos para o BEN 2010, o setor sucroalcooleiro gerou 14.1 TWh em 2009, sendo 5,9 TWh destinados ao mercado e

8,2 TWh destinados ao consumo próprio. Em 2008, a geração do setor ficou em 12 TWh, com 4,4 TWh destinados ao mercado.

A geração eólica passou de 1.183 GWh em 2008 para 1.238 GWh em 2009, representando crescimento de 4,7%. No conjunto da biomassa aparecem ainda a lixívia, a lenha e resíduos de madeira, todos provenientes da indústria de celulose, cuja produção aumentou 6,2% em 2009.

O gráfico da figura 7 possibilita identificar as parcelas dos setores da economia no consumo de energia elétrica:

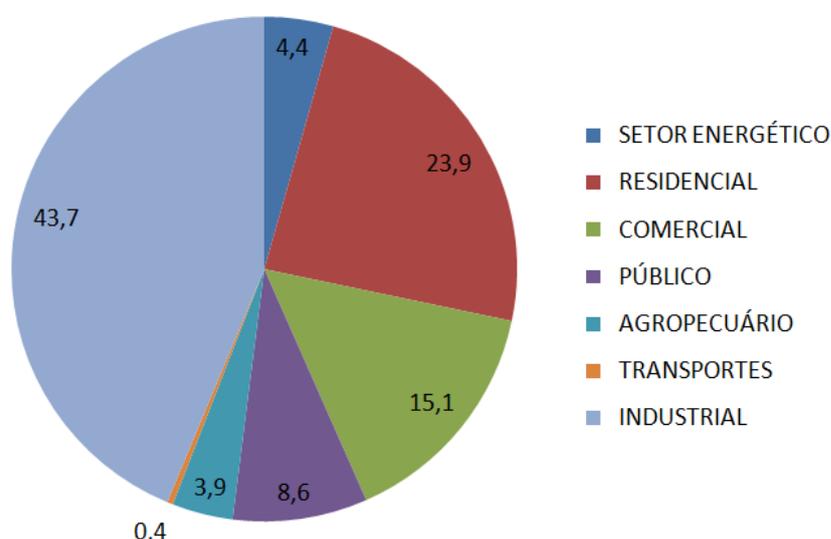


Figura 7 - Matriz de Consumo Final de Energia elétrica por Setor – 2009. Fonte: BEN 2010

Dentro do cenário de consumo setorizado de energia elétrica no Brasil, as indústrias são responsáveis por expressivas parcelas de desperdício de energia, e são suas maiores consumidoras, 43,7%.

Conforme INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética (2001), os sistemas motrizes são responsáveis por 51% do total de energia elétrica consumida nas indústrias e compreendem, predominantemente, acionamento eletroeletrônico, motor elétrico, acoplamento motor carga, carga mecânica acionada (bombas, compressores, ventiladores, exaustores e correias transportadoras) e instalações (transporte e consumo de fluidos). Essa significativa parcela no uso final de energia elétrica revela uma oportunidade de estudos para ações de combate ao desperdício de energia elétrica. O gráfico da figura 8 mostra como está distribuída a energia dentro do setor industrial:

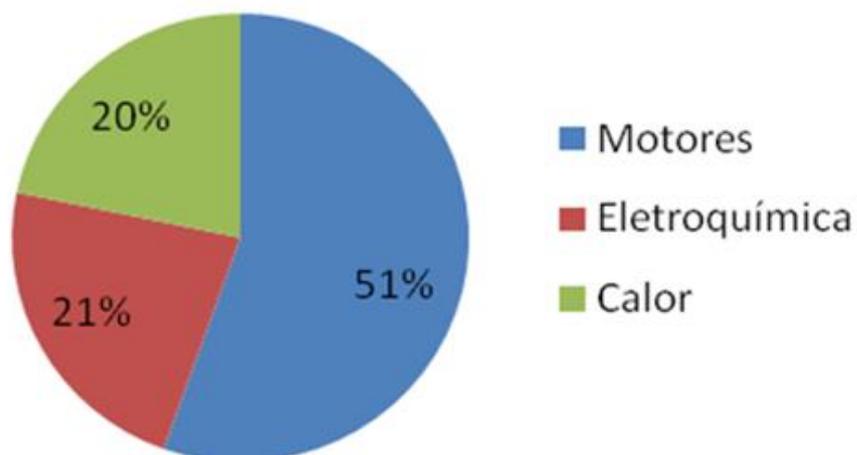


Figura 8 - Consumo de energia elétrica no setor industrial – 2001. Fonte: INEE

A linha de fabricação de móveis possui grande dependência da força motriz no acionamento em esteiras, furadeiras, lixadeiras, compressores e exaustores para a produção. As fábricas possuem uma carga motriz até 2500 [cv] resultando numa participação acima de 80% da carga instalada. O gráfico da figura 9 abaixo mostra a distribuição da quantidade de motores e a potência instalada de uma fábrica analisada do pólo moveleiro de Linhares-ES:

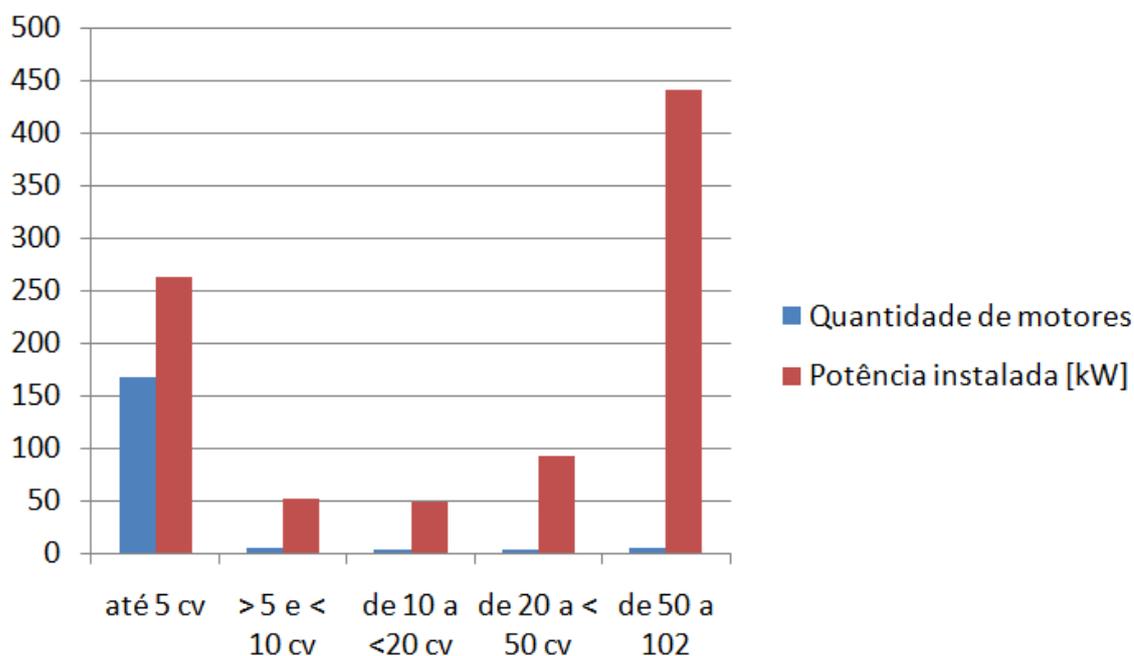


Figura 9 - Distribuição do número de motores e da potência do sistema motriz. Fonte: Empresa analisada.

A figura abaixo mostra o gráfico da participação percentual das potências dos motores em funcionamento na mesma empresa.

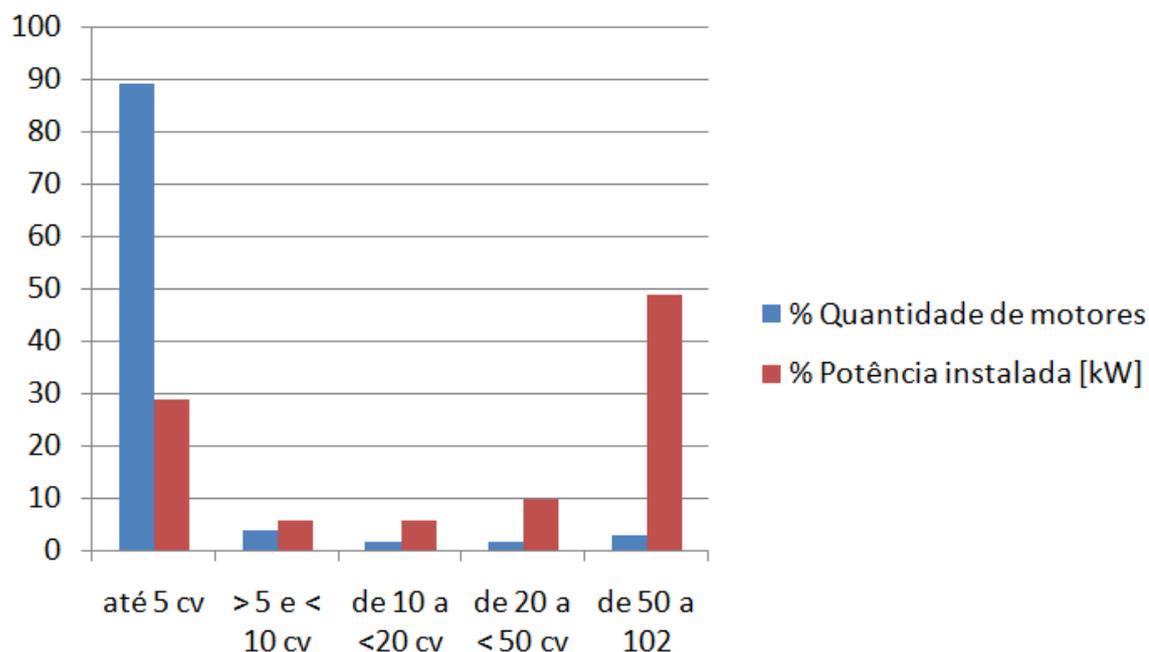


Figura 10 - Distribuição percentual dos motores e da potência do sistema motriz. Fonte: Empresa analisada.

Os motores entre 5 e 10 cv somam quase 90% da quantidade, porém são 29% da potência instalada. Da mesma forma, os motores entre 50 e 102 cv são 3% em quantidade e 49% da potência instalada. Já do ponto de vista da economia obtida com o aumento do rendimento do motor, apesar da economia por cv ser maior nas potências menores, as horas de operação e potência instalada compensam a economia de energia nos motores maiores.

Conforme ABIM – Associação Brasileira das Indústrias Moveleiras (2010)

[...] a indústria brasileira de móveis é formada por mais de 16.298 micro, pequenas, médias e grandes empresas que geram mais de 208.584 empregos, sendo maior parte de capital nacional. Atualmente, já existem programas dentro do setor moveleiro que se preocupam em adotar o preceito de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), bem como a certificação com base na série de normas da ISO 14000, no intuito de aumentar as exportações.

Portanto, a gestão da energia pelo lado da demanda e oferta com a análise de eficiência energética dos motores elétricos aproveitamento de resíduos, são importantes na redução do impacto ambiental e aumento da produtividade e competitividade da empresa devido a sua significativa participação no consumo de

eletricidade no cenário energético local e nacional reduzindo, ainda, investimentos em oferta.

4.2 Tarifação

Conforme resolução 414 de setembro de 2010,

Relativa às condições de fornecimento de energia elétrica aos consumidores interligados ao SIN, o consumidor do subgrupo A4 com tensão de fornecimento abaixo de 69 k[V] e demanda contratada acima de 300 k[V] pode optar pelas modalidades tarifárias horosazonais azul ou verde.

Para assegurar a correta escolha de um sistema tarifário é importante que a gerência, equalizando as metas da empresa com planejamento da produção e disponibilidade dos equipamentos, busque um valor para a demanda a ser contratada junto à concessionária a mais próxima da demanda solicitada no processo conseguindo reduzir despesas com ociosidades, ultrapassagens e multas. Por outro lado, a concessionária reduz seus investimentos em oferta com a ampliação do sistema de fornecimento como a construção de novas centrais de geração, transmissão e distribuição. O gráfico da figura 11 abaixo mostra um exemplo de demanda contratada junto à curva da demanda medida.

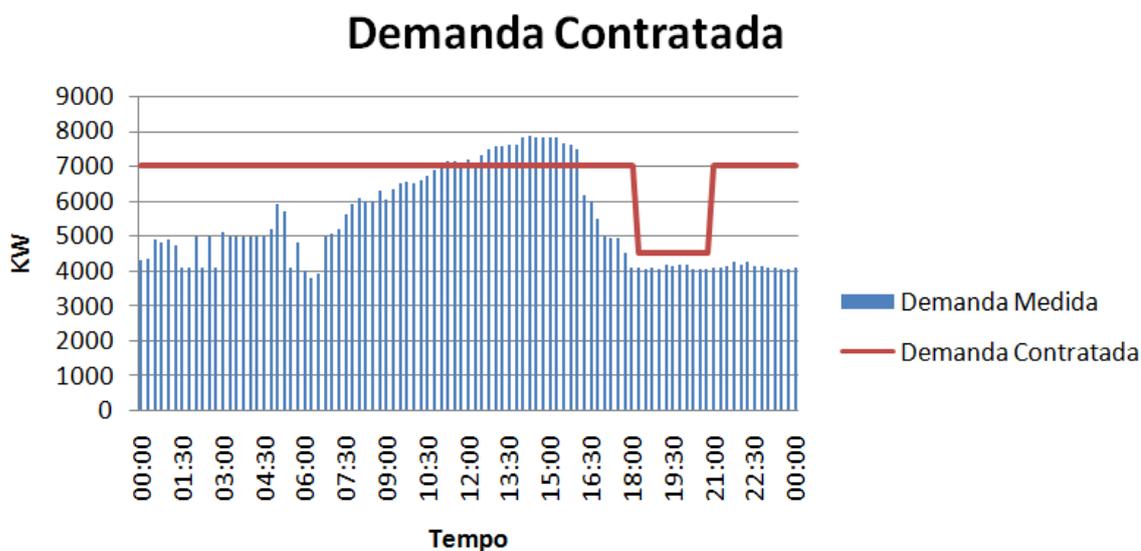


Figura 11 - Exemplo de curva de demanda contratada e medida. Fonte: Haddad Jamil, Conservação de energia, 2006.

O gráfico da figura acima mostra um exemplo de curva de demanda contratada e medida. Observa-se a mudança de contrato de demanda nos horários de ponta e fora de ponta. Isso acontece com o objetivo de incentivar a redução da demanda em horários com grande demanda do SIN no período de 18 às 21 horas onde o valor da tarifa é maior. Somente não é feita a distinção de tarifas de cobrança nos sábados, domingos e feriados nacionais.

O gráfico da figura abaixo mostra o comportamento de consumo diário de energia elétrica numa instalação utilizada para exemplificar o assunto. A curva não é linear, ou seja, pode ser feita uma análise de otimização das cargas da instalação buscando um melhor uso da eletricidade disponibilizada pela concessionária. Com os estudos de conservação de eletricidade nos equipamentos consumidores de uma instalação e a possibilidade de redução de consumo torna-se recomendável fazer a análise tarifária de adequação do perfil real de consumo da instalação.

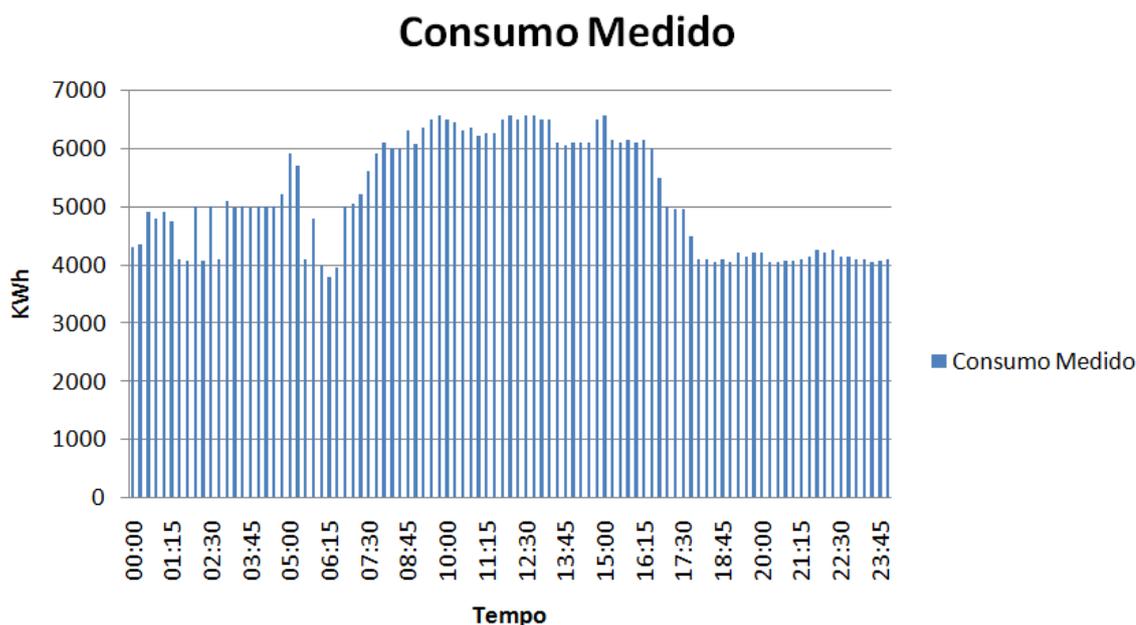


Figura 12 - Exemplo de curva de consumo de eletricidade. Fonte: Haddad Jamil, Conservação de energia, 2006.

Segundo Guardia, C. Eduardo (2007), se tratando de otimização tarifária

[...] a importância na fixação de valores adequados de contrato reside em dois pontos importantes da legislação: Se a demanda solicitada for inferior à contratada, será faturada a demanda contratada e nos contratos de tarifas horosazonais, serão aplicadas as tarifas de ultrapassagem caso a demanda registrada exceda a contratada em percentuais superiores aos limites estabelecidos.

Para a realização de uma análise do perfil de consumo junto ao contrato de fornecimento da concessionária, é necessária a realização de um diagnóstico energético de acordo com estratégias globais da empresa cujo escopo considere também a preservação do meio ambiente, ganhos de produtividade e redução de custos advindos de um controle energético racional. Isso conduz genericamente ao gerenciamento do lado da demanda e do suprimento.

O aspecto importante de funcionamento de uma instalação junto à curva de fornecimento de energia da concessionária é o Fator de Carga (FC) e constitui-se como um indicador que informa se a empresa utiliza adequadamente a energia elétrica que lhe é disponibilizada. Trata-se de um índice adimensional, variável entre 0 a 1, capaz de apontar o relacionamento entre o consumo de energia e a demanda de potência no mesmo intervalo de tempo. Este tempo é convencionado em 730

horas por mês, que representa o número de horas médio em 1 mês genérico do ano [(365 dias / 12 meses) x 24 horas]. No caso da indústria moveleira, consumidor enquadrado no Sistema Tarifário Horo-Sazonal, modalidade Verde, o FC é definido por segmento horo-sazonal, fora de ponta (fp) e ponta (p). Para o posto horário de fora de ponta a quantidade de horas é igual a 664 e para o posto horário de ponta, das 18 às 21h durante os dias úteis da semana, a quantidade de horas é igual a 66 durante o mês:

$$FC_{fp} = \frac{\text{Consumo de energia } k[Wh]}{\text{Demanda } k[W] \times 730 [h]}$$

Equação 1 - Fator de carga no horário fora de ponta

e

$$FC_p = \frac{\text{Consumo de energia } k[Wh]}{\text{Demanda } k[W] \times 66 [h]}$$

Equação 2 - Fator de carga no horário de ponta

O Preço Médio (PM) da energia é a relação entre o valor total da conta de energia e o consumo mensal conforme pode ser verificado pela expressão:

$$PM = \frac{\text{Valor da Fatura } [R\$]}{\text{Consumo Total } [KWh]}$$

Equação 3 - Preço médio

Os indicadores de utilização da energia elétrica, FC e PM são propostos para verificar a melhoria realizada na eficiência das instalações. Para que se possa promover a elevação do FC de uma instalação, torna-se necessário buscar a equalização dos níveis de demanda ao longo da jornada de trabalho, em geral através de remanejamentos nos horários de funcionamento das cargas. Em outras palavras, quanto mais “plana” for a curva de carga da instalação, melhor será o FC apresentado e, conseqüentemente, menor o PM do kWh consumido. Obviamente, tais procedimentos dependem intimamente das características intrínsecas do processo produtivo e das possibilidades efetivas de flexibilização na rotina operacional das cargas acionadas.

Tornar o processo mais limpo e enxuto são preocupações da gestão integrada de uma empresa. No cenário atual, a busca de maior participação no mercado pode ser feita evitando-se prejuízos com desperdícios na produção. A preocupação com certificação de qualidade para a preservação ambiental vem alavancar o questionamento quanto ao uso adequado da eletricidade em relação à utilização dos insumos, mão de obra e tempo na produção.

4.3 Motores de indução

Os motores de indução elétricos são máquinas intrinsecamente eficientes, porém, no mundo todo, como os mesmos constituem-se como grande potencial para conservação de energia, tornara-se foco de estudos, para consolidar as várias ações na busca de uma maior eficiência no consumo de energia elétrica e redução do impacto ambiental.

Conforme Latorre (2006), se tratando da economia de energia

[...] o Brasil apresenta potencial de economia de energia em sistemas com motores. Uma grande opção para que este potencial econômico seja alcançado está na aplicação de motores e equipamentos mais eficientes. Através da lei 10295 de 17 de dezembro de 2001 e seus decretos regulamentadores, passa a existir no país um importante mecanismo de aplicação e aprimoramento de tecnologias mais eficientes.

Este estudo faz um levantamento das condições operativas dos motores elétricos existentes nas empresas analisadas. Uma das causas mais comuns de operação ineficiente dos motores elétricos é o sobredimensionamento, ou seja, utiliza-se um motor com potência nominal superior a solicitada pela carga, resultando na redução do seu rendimento, consumindo mais energia do que outro motor dimensionado de forma adequada à carga a ser solicitada. Ao contrário, o subdimensionamento (sobrecarga) provoca o sobre aquecimento, que é facilmente percebido e tem como conseqüência a redução da vida útil do equipamento. Um parâmetro de grande interesse para verificar o sobredimensionamento de um motor é o IC.

Segundo WEG Motores 2010

[...] quando o regime de trabalho for contínuo, deve-se especificar o motor para operar entre 75 e 100% da potência nominal, o que corresponde à faixa de melhor rendimento. No dimensionamento de motores elétricos deve-se considerar o torque de partida da carga e o regime de funcionamento (número de partidas por hora), haja visto que, em algumas situações, é necessário o uso de motores de maior potência para suprir as características da carga.

Segundo estudo realizado pela WEG (2010), num universo de 3.425 motores, 28,75% estavam superdimensionados; a este fato atribui-se: (I) desconhecimento das características da própria carga; (II) utilização de fatores de segurança excessivo; (III) expectativa de futuro aumento da carga; e (IV) falta de informação sobre métodos de dimensionamento mais adequados. Como consequência do superdimensionamento do motor elétrico, dentre outros, citam-se: a redução do fator de potência e do rendimento e o aumento da corrente de partida. Sendo assim, maior investimento no sistema de proteção e distribuição de eletricidade é necessário.

De acordo com Haddad, Jamil et al. (2006)

[...] se o valor IC estiver acima de 75%, pode-se considerar que o motor está bem dimensionado, haja vista que o mesmo opera em região de operação com rendimento elevado. Se, no entanto, o fator de carregamento estiver abaixo de 75%, não se pode afirmar, categoricamente, que tal motor esteja sobredimensionado, mas sim, que há indícios de que esteja. Isto porque existem situações tais como em ciclos de carga severos ou em partidas de cargas com alta inércia onde o uso de motores sobredimensionados se faz necessário.

A avaliação das reais condições de carregamento dos motores elétricos deve ser feita partindo-se da obtenção das diversas características de operação dos mesmos. Tais características são um conjunto de grandezas elétricas, mecânicas e térmicas que exprimem o comportamento do motor sob várias condições operativas.

Os métodos para a obtenção destas características podem ser classificados em dois grandes grupos: os métodos normalizados e os métodos expeditos. Os primeiros, face à complexidade do ferramental necessário e das condições excepcionais para a sua realização, são indicados para aplicação em laboratório. Dentre eles podem-se destacar: ensaio através de freio mecânico, ensaio através de dinamômetro, determinação das perdas separadamente para a sua adição,

determinação das perdas totais e o método do diagrama circular com ensaio de frequência reduzida. O segundo grupo trata dos métodos de execução em campo. Este método utiliza de medidas de corrente, rotação, dados de placa, e de catálogos de fabricantes e será aplicado neste trabalho.

O rendimento máximo de um motor varia com suas características construtivas, ou seja, com sua potência nominal e com sua velocidade de sincronismo. Conforme o gráfico da figura abaixo o rendimento máximo é tanto mais elevado quanto maior for a potência nominal do motor e o rendimento máximo, para uma mesma potência, varia com o número de pólos. A figura 13 mostra a relação entre o rendimento máximo de um motor em função da potência nominal e de sua velocidade de sincronismo.

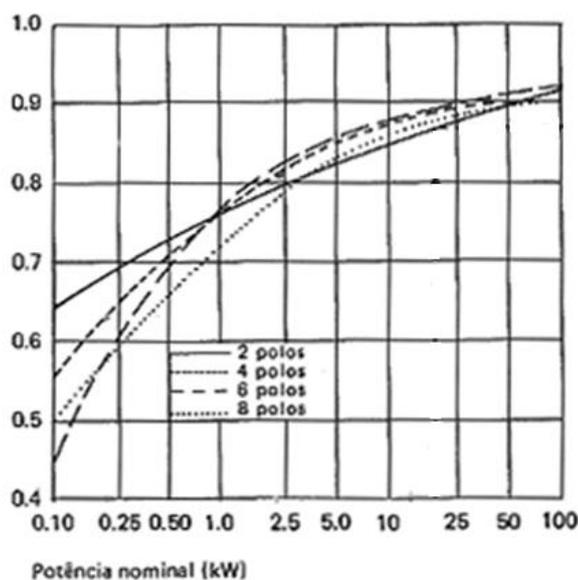


Figura 13 - Rendimento máximo de um motor em função da sua potência nominal. Fonte: Conservação de energia, Fupai – 2007.

O gráfico da figura abaixo mostra o coeficiente multiplicador do rendimento máximo em função do carregamento, ou seja, o rendimento máximo de um motor ocorre quando a sua carga é igual a 75% de sua potência nominal.

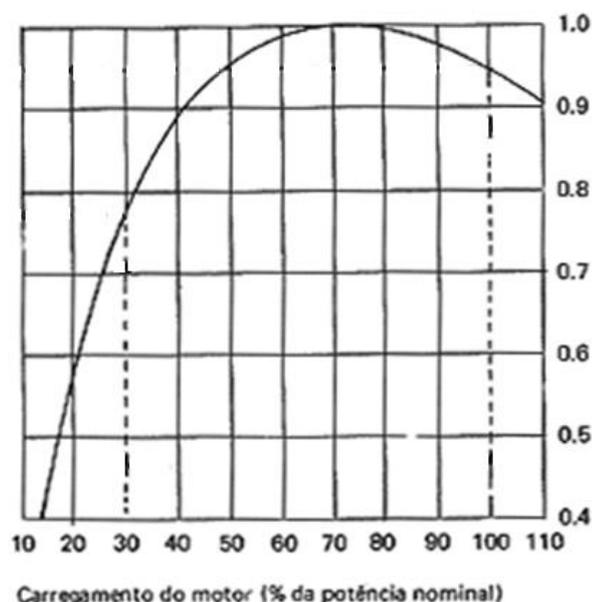


Figura 14 - Coeficiente multiplicador do rendimento em função do seu carregamento. Fonte: Conservação de energia, Fupai – 2007.

Conforme o gráfico da figura 14 acima, quando um motor opera com mais de 60% de sua potência nominal, o rendimento é muito próximo de seu rendimento máximo e quando opera abaixo de 60% de sua potência, o seu rendimento cai abruptamente. Nestes casos deve-se verificar a possibilidade, por exemplo, de se substituir os motores por outros de menor potência, com torque de partida mais elevado e mais eficiente.

Conforme Latorre, C. de F. Nobre (1990)

[...] do ponto de vista do setor elétrico, a maior vantagem em se ter sistemas motrizes mais eficientes está na economia gerada de imediato, que minimiza os investimentos em novas usinas e novas linhas de transmissão.

A participação dos motores na matriz de consumo de uma empresa mostra a sua importância nos estudos de redução do impacto ambiental. A eficiência energética busca aperfeiçoar o funcionamento das instalações. Na indústria a economia gerada por sistemas motrizes pode ser aplicada em outros setores da fábrica, melhorando a capacidade ou qualidade da prestação do serviço.

4.4 Aproveitamento de resíduos

Conforme Nogueira (2003), “na maioria das agroindústrias são produzidos resíduos com valor energético que podem contribuir para reduzir a dependência da energia comprada e ser utilizados para a geração de vapor ou eletricidade”. O setor da indústria da madeira gera resíduos em grande escala e com possibilidade de aproveitamento.

Para a produção de energia elétrica a partir de combustíveis podem ser empregados ciclos térmicos, que convertam energia térmica em potência mecânica, que logo é transformada em eletricidade. O resíduo mais adequado para a produção de eletricidade deve possuir características como facilidade de utilização, baixo preço por unidade energética e impactos ambientais aceitáveis. Em muitas ocasiões os resíduos de processo podem competir vantajosamente com os energéticos primários de origem fóssil utilizados em termoelétricas, especialmente para sistemas isolados e em sistemas de cogeração.

Segundo Nogueira (2003), “o bagaço da cana-de-açúcar é um dos resíduos energéticos mais conhecidos e empregados nas agroindústrias”. Cada tonelada da cana moída produz de 250 a 300 kg de bagaço com 50% de umidade e poder calorífico de 8,4MJ/kg. Em muitos casos, o aperfeiçoamento do balanço térmico nas plantas de produção de açúcar e álcool tem permitido excedentes de bagaço na ordem de 25 a 30% do bagaço total produzido, ou seja, o bagaço provê toda a energia térmica e elétrica requerida para a produção de açúcar e álcool e ainda sobra material que é utilizado na geração de excedentes de eletricidade ou comercializado como combustível.

Na fabricação de papel e celulose, como resultado da dissolução da lignina da madeira com soda cáustica, a fim de obter polpa de celulose, é produzida uma lixívia denominada “licor negro”, geralmente com concentração de sólidos de 60% e poder calorífico de 12,5MJ/kg. A queima do licor negro em caldeira melhora o balanço de energia, reduz a contaminação e permite geralmente até 80% do vapor necessário na planta industrial.

A produção de café solúvel gera um resíduo, a borra do café, que pode substituir 60 a 80% do combustível requerido neste tipo de indústria. Para 1 tonelada de café solúvel são produzidos 4,1 tonelada de borra com 80% de umidade, que deve ser reduzido por secagem a 25% alcançando um poder calorífico de 14,5 MJ/kg conforme Nogueira (2003).

Neste sentido, o aproveitamento de resíduos da madeira para a geração de eletricidade é um objetivo da conservação de energia dentro do processo de fabricação de móveis como medida de sustentabilidade na utilização do uso da energia.

Conforme BEN (2010), a utilização de resíduos sólidos, líquidos e gasosos está aumentando a participação da energia renovável na matriz energética nacional. A tecnologia de cogeração é particularmente interessante para a utilização destes subprodutos, já que contempla a produção simultânea de calor e energia com alta eficiência.

Conforme o Ministério de Minas e Energia (2011), a expressiva participação da energia hidráulica e o uso representativo de biomassa na matriz energética brasileira proporcionam indicadores de emissões de CO₂ bem menores do que a média mundial e dos países desenvolvidos. No país, a emissão de 2009 pelo uso de energia ficou em 1,4 toneladas de CO₂ por tep da OIE, enquanto que nos países da OECD esse indicador ficou em 2,37 tonCO₂/tep de OIE, e no mundo ficou em 2,41 tonCO₂/tep.

Conforme Horta (2006), para a melhor compreensão da análise de sistemas térmicos é necessário o conhecimento de aspectos relacionados à transferência de calor e as características do combustível.

O poder calorífico é a quantidade de calor liberado na combustão de uma unidade de massa de combustível e pode ser classificado em superior ou inferior. No processo de aquecimento da água, a água inicia a vaporização, a temperatura permanece constante num certo intervalo de tempo, tem-se a mistura de água e vapor até toda a água seja convertida em vapor. No cálculo do poder calorífico superior (PCS) inclui-se à energia que pode ser aproveitada do combustível e o calor latente de vaporização da água. O poder calorífico inferior (PCI) é calculando desconsiderando-se o calor de vaporização da água na quantidade de energia que

pode ser fornecida pelo combustível, ou seja, considera-se que a água deixe o processo na forma de vapor. Como a temperatura de saída dos gases, gerados no processo da combustão, é geralmente superior à temperatura de vaporização da água, esta medida representa de maneira mais realista o calor disponível após a combustão.

Na combustão da madeira os equipamentos utilizados podem ser utilizados para controle ou para aumentar a sua eficiência. A mistura ar-combustível deve ser feita de modo que haja, ao redor de todas as partículas, a quantidade de ar necessária à combustão. A pulverização do combustível facilita a queima aumentando a eficiência térmica da combustão.

De maneira geral, as caldeiras podem ser classificadas como flamotubulares e as aquotubulares. As caldeiras flamotubulares são essencialmente metálicas tendo o processo de combustão dentro da própria caldeira. Com a combustão do combustível, os gases quentes passam a percorrer os tubos internamente, onde fornecem calor à água até que esta atinja a vaporização. Atualmente elas existem em grande variação de tamanho e formato. Neste tipo de caldeira, a água circula no interior dos tubos e os gases da combustão circulam por fora. Seu princípio de funcionamento está baseado na circulação natural da água, mantida pela diferença de densidade conseguida por diferença de temperatura entre dois conjuntos de tubos. Com a circulação natural tem-se limitada a pressão de trabalho que se pode alcançar na caldeira. Neste sentido, é necessário o auxílio de bomba na circulação de água se busca maiores pressões conforme dizeres de Horta (2006).

4.5 Impacto Ambiental

Atualmente, grandes desastres naturais têm mostrado a influência da interação das atividades industriais com o meio ambiente resultando nas alterações atmosféricas como a elevação na temperatura média e mudanças climáticas no planeta. A necessidade crescente por legislação, tecnologia e política sobre

eficiência energética hoje orienta a sociedade na busca do uso sustentável dos recursos naturais.

De acordo com um novo levantamento do Centro Comum de Investigação da União Europeia (Joint Research Centre - JRC), a liberação de carbono nunca foi tão grande, devido principalmente ao aumento das emissões das nações em desenvolvimento. Esta constatação pode enfraquecer as possibilidades de extensão do Protocolo de Quioto, que expira em 2012 e obriga apenas os países mais ricos a terem metas.

O estudo do JRC, intitulado Tendências de Longo Prazo nas Emissões Globais de CO₂, aponta que a emissão de GEE cresceu 45% entre 1990 e 2010, e atingiu um recorde de 33 bilhões de toneladas de dióxido de carbono no último ano conforme Procel 2011.

Apesar disso, as emissões dos países da União Europeia, bloco que reúne algumas das maiores economias do mundo, não seguiram essa tendência: elas foram reduzidas em média 7% no mesmo período, o que significa que a meta de diminuição de emissões de 5,2% até 2012 fixada pelo Protocolo de Quioto foi alcançada. Outros países industrializados também atingiram cortes notáveis: a Rússia, por exemplo, reduziu suas emissões em 28% nas últimas duas décadas.

E essa redução teve um efeito relevante sobre as emissões mundiais. Em 1990 a liberação de dióxido de carbono europeia e norte-americana totalizava cerca de dois terços das emissões mundiais. Hoje, essa porcentagem caiu para menos da metade do total segundo Ambienta Já.

Outro fator que ajudou a mitigar as emissões de GEE foi a recessão econômica ocorrida em 2008 e 2009. Só na Europa, a crise financeira diminuiu a liberação de um total absoluto de 4,2 bilhões de toneladas de CO₂ em 2007 para quatro bilhões em 2010.

Então, segundo a pesquisa, a principal causa desse crescimento tão acentuado foi o desenvolvimento da economia de países emergentes como a China e a Índia. Os dados do JRC mostram que só entre 2009 e 2010, as emissões chinesas aumentaram 10% e as indianas, 9%. Em outras nações emergentes como o Brasil, o México e a Coreia do Sul, a liberação de CO₂ cresceu em média 5% neste período.

Conforme WWF (2007), o Brasil tem o potencial de reduzir em até 38% a demanda por eletricidade até 2020, e juntamente com a expansão de energias renováveis não-convencionais como biomassa, eólica e termosolar podem representar uma economia de R\$ 33 bilhões. Além disso, é preciso que o Brasil continue investindo em energias limpas e reverta a tendência de crescimento de termoelétricas baseadas na queima de combustíveis fósseis.

A geração de eletricidade em grandes usinas provoca danos ao meio ambiente desde a sua construção até a operação. Em usinas hidrelétricas o alagamento de extensas áreas modificando o comportamento dos rios barrados, os ecossistemas podem ser alterados e a vegetação submersa decompõe-se dando origem a gases como metano, que tem impacto no efeito estufa e causa mudança climática. Cidades e povoados, inclusive indígenas, podem ser deslocadas por causa da construção das barragens. O novo lago pode afetar o comportamento da bacia hidrográfica. Com a operação, ocorrem assoreamentos que pode ocasionar mudanças na qualidade da água. Já as usinas a combustíveis fósseis causam a emissão de uma série de GEE como o CO₂, CO, metano e óxidos de enxofre e nitrogênio que na atmosfera, dão origem às chuvas ácidas que prejudicam a agricultura, florestas e até monumentos urbanos. Aliado a estes problemas existe o uso da energia nuclear dos átomos de urânio e plutônio que embora sejam cada vez mais seguras, envolvem riscos de acidente que podem causar vazamento de radiação para o meio ambiente com a notória consequência grave que o acompanha. Todas estas formas de geração de energia elétrica envolvem, também, o risco de impactos ambientais associados a outros estágios da cadeia de produção, transporte e distribuição de energéticos.

Conforme Sasson (2011),

“... antes de discutirmos e apoiarmos investimentos bilionários em novas fontes de energia limpa, a eficiência energética aparece como uma alternativa muito mais barata e eficiente. Ela poupa recursos naturais, diminui os custos de produção – bens e produtos serão cada vez mais baratos sem prejuízo de suas qualidades – e reduz o investimento em geração de energia, entre outros fatores.

Num cenário contemporâneo onde a preocupação com o aquecimento global e mudanças climáticas provocadas por emissões de GEE como CO₂ na queima de combustíveis com fontes de energia sujas como a fóssil, a eficiência energética é

uma forma muito mais rápida e eficaz de diminuir os impactos causados no meio ambiente. Com esta preocupação, foi promulgada em 2001 a Lei 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia orientado pelo Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

Conforme Procel (2011),

“... numa sociedade de consumo que exige cada vez mais conforto, a geração, transmissão, distribuição e o uso da energia (assim como todas as formas de atividade econômica e social), podem causar impactos negativos ao meio ambiente. A redução dos impactos ambientais surge como uma meta e uma preocupação, no sentido de garantir a qualidade de vida dessa e das futuras gerações.”

Conforme Nogueira (2003), “para reduzir a concentração de CO₂ na atmosfera associado ao uso de combustíveis fósseis em termoelétricas, pode-se atuar basicamente na redução de emissões ou na captura de carbono que já está na atmosfera”. A utilização de resíduos de madeira da produção de móveis é importante nos dois sentidos como ferramenta para reduzir os riscos de mudanças climáticas, pois em relação às emissões de CO₂, a madeira pode ser utilizada na forma passiva, em florestas, para seqüestrar o carbono atmosférico ou, de forma ativa, para substituir as emissões devidas aos combustíveis fósseis.

Conforme Procel (2011), “a geração de energia causa a exploração de recursos naturais e emissão de resíduos no meio ambiente. Os resíduos são despejados no solo, água e ar, modificando a paisagem e o clima, afetando ecossistemas”. Quanto maior o nível de atividade econômica, maior o uso da energia e maiores os impactos ambientais deste uso. Assim, a eficiência energética pode trazer benefícios como o aumento da segurança no abastecimento de energia, contribuição para a eficiência econômica e redução dos impactos ambientais. Estes três itens se complementam, implicando na redução da energia necessária por unidade de produto econômico, aumentando a eficiência da economia e garantindo que a mesma produção possa ser obtida com menos energia e, portanto, com menor uso de recursos naturais e menores danos ambientais.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Coleta de dados

As medições do consumo e custos com eletricidade foram feitas a partir do software Webenergy. Este software faz o monitoramento paralelo ao da concessionária, com medições em intervalos de 15 minutos e disponibiliza *on line*, as informações de consumo e demanda de eletricidade da empresa. Além disto, pode ser feita a programação seletiva de desligamento de equipamentos, automaticamente, quando a demanda medida for superior à contratada, buscando evitar gastos com multas de ultrapassagem. A observação das curvas de consumo e demanda possibilita a determinação do perfil de funcionamento.

No estudo de dimensionamento foram utilizados os motores do sistema de exaustão para o cálculo do IC e verificar seu possível sobredimensionamento. Assim estes motores podem ser alvos de análises técnicas e econômicas na proposta de investimento para buscar maior eficiência dos equipamentos, reduzindo gastos com consumo inadequado aumentando o rendimento, preservando as instalações e o meio ambiente. Esta análise é realizada em condições de funcionamento normal de trabalho sem considerar os estados transitórios ou de partidas.

A coleta de dados deste estudo foi realizada a partir de visitas às fábricas A e B possibilitando a verificação das condições de ambiente de trabalho assim como medidas de funcionamento. Foi feita a leitura das informações de placa de identificação e medidas de corrente elétrica e rotação dos motores. A medida da corrente elétrica foi feita com a utilização do instrumento chamado Amperímetro. A medida da corrente em vazio foi feita com o desacoplamento do eixo do motor a carga, possibilitando seu funcionamento ser livre de torque resistivo externo. Para a medida de rotação do eixo do motor, acoplado, em funcionamento de trabalho foi utilizado o instrumento chamado Tacômetro. Por fim, o uso de dados de

performance de funcionamento de motores via curvas características fornecida pelo fabricante faz a última análise de escolha do melhor motor dimensionado à carga acionada. Para melhor interpretação do estudo a tabela 3, contendo os motores analisados com seus dados de placa, é mostrada abaixo:

Tabela 3 - Dados de placa dos motores dos exaustores.

Motores	A		B	
	Motor 1	Motor 2	Motor 1	Motor 2
DESCRIÇÃO				
Fabricante	EBERLE	WEG	WEG	EBERLE
Nº de pólos	4	4	4	4
Potência [cv]	75	75	75	50
Corrente Nominal [A]	105	102	101	70,6
Tensão Nominal [V]	380	380	380	380
Rendimento	92,7	93,4	91,9	92,4
Rotação Nominal [RPM]	1765	1775	1770	1770

Em outros três motores do sistema de exaustão não foi possível a leitura pois possuem suas placas de identificação ilegíveis devido à deterioração e vandalismo. Esta situação dificulta a análise de funcionamento do motor, pois não existindo a evidência do modelo, fabricante, potência, corrente elétrica, etc. do equipamento, torna-se mais trabalhosa a comparação entre um equipamento eficiente e o analisado em campo sendo necessários testes de dimensionamentos em laboratório. Neste estudo não foram considerados estes motores devido ao método ser do tipo expedito, ou seja, com medidas de funcionamento em regime de trabalho no local de trabalho na linha de produção.

Conforme Franco, G. Fernando (2004),

“[...] deverão ser fotografadas todas as situações que comprometam a eficiência energética ou a segurança de operação dos equipamentos e dos sistemas de trabalho, bem como aquelas que se destaquem como portadoras de potencial de economia de energia”.

As fotos das figuras abaixo demonstram o estado de conservação e manutenção destes equipamentos. Estes motores possuem, em média, oito anos de funcionamento. Nenhum destes motores sofreu rebobinamento e não possuem histórico de paradas de funcionamento não previstas, no entanto, a grande quantidade de pó de madeira nos contatos elétricos, mancais e eixos demonstram a

interferência do ambiente no desempenho da máquina e a necessidade de uma manutenção preventiva para evitar baixa confiabilidade da instalação.



Figura 15 – Foto do motor da Moenga. Fonte: Fábrica A



Figura 16 – Foto do motor do sistema de exaustão. Fonte: Fábrica A



Figura 17 – Foto dos cabos de alimentação. Fonte: Fábrica B



Figura 18 – Foto da caixa de ligação dos cabos de alimentação. Fonte: Fábrica B

As figuras acima mostram o estado de conservação e funcionamento dos motores. A figura 15 mostra um motor num ambiente com alta concentração de partículas em suspensão, podendo danificar contatos e dispositivos de troca de calor. A figura 16 mostra a placa de identificação de um motor ilegível, resultado de uma ação de vandalismo. A figura 17 mostra os cabos com sua proteção externa desacoplada do dispositivo de contato do motor, ocasionando entrada de corpos estranhos no interior do motor. A figura 18 mostra um sinal de curto circuito, onde parte da carcaça está queimada devido sobreaquecimento de algum dispositivo interno ou externo à máquina.

A análise de dimensionamento foi realizada a partir de uma planilha de cálculo elaborada pelo autor para o cálculo do IC dos motores. Esta planilha faz a convergência dos resultados calculados pelos métodos utilizados e mostra a economia com energia e redução da emissão de CO₂ à atmosfera conforme índice de conversão utilizado pelo Ministério de Ciências e Tecnologia (MCT) para propostas de MDL. Os valores de desempenho nominal e de compra de motores novos para substituição dos calculados como sobredimensionados foi adquirido com o auxílio do software BDMotor elaborado pelo PROCEL em conformidade com as políticas de conservação de energia elétrica da Eletrobrás.

A análise da viabilidade econômica da troca de motores mostra a oportunidade de economia de energia em R\$ e kWh por ano. Para o investimento na troca de motores superdimensionados, utiliza-se o preço residual do motor em funcionamento para venda no valor de R\$ 300,00 e o preço de um motor novo adequado á carga no valor de R\$ 4000,00 com uma taxa de depreciação de 10% aa e aumento do custo da energia comprada da concessionária de 13% aa segundo a média das variações do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) dos últimos cinco anos.

Para realização da análise energética e econômica de uma planta a vapor se faz necessário o levantamento de informações que são de fundamental importância para a qualidade dos resultados do estudo, tais como: volume, densidade, vazão mássica, poder calorífico da biomassa e os valores de entalpia dos estados de transição da água no ciclo termodinâmico proposto.

No processo de fabricação de móveis em Linhares 30% da matéria prima torna-se resíduo. E este resíduo se encontra na forma de pó, lâminas e cavacos. Do volume total produzido, 70% são destinados a aterros e o restante tem sido disposto a céu aberto ou queimado em carvoarias e cerâmicas.

Conforme Sindicato Moveleiro de Linhares-ES (SINDIMOL) em 2010 existem em atividade 57 empresas, sendo que desse total foram obtidas informações de controle ambiental do envio de resíduos de apenas 13 empresas, o restante do volume foi estimado a partir do volume informado pelos responsáveis pelo descarte. O volume anual de biomassa rejeitada pelo processo produtivo pelas empresas associadas à SINDIMOL totaliza 39.233,7 m³.

Conforme Guidolini e Souza (2006) para o cálculo da densidade foi utilizado o método de deslocamento de volume, que consiste em pesar as amostras e mergulhá-las em um recipiente com um volume de água previamente conhecido. Ao mergulhar a amostra na água é anotado o deslocamento da água ocasionado pela amostra. A tabela 4 abaixo mostra os valores de densidade das madeiras nos formatos encontrados no processo de fabricação de móveis.

Tabela 4: Densidade estimada para as amostras. Fonte: Guidolini – 2006.

Amostras	Densidade k[g/m³]
Madeira	787
Aglomerado	694
MDF	740
Lâmina	660
Pó	390
Média	555

Para a realização dos cálculos referentes à análise termodinâmica foi encontrado o valor de 555 kg/m³ em média para a densidade da madeira conforme pode ser verificado na tabela acima.

O poder calorífico da biomassa é fundamental para desenvolvimento da análise energética, pois a partir deste valor é possível obter a quantidade de calor que o combustível fornece ao fluido de trabalho. O poder calorífico da madeira consiste na quantidade de calor liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do combustível. Sua determinação pode ser teórica pelo conhecimento da composição química do combustível ou experimental com o auxílio da bomba calorimétrica. O Poder Calorífico Superior (PCS) e o Poder Calorífico Inferior (PCI) da madeira seca, 0% de umidade corresponde a 5086 e 4756 kcal/kg. O aspecto que diminui mais a eficiência da madeira como combustível é o teor de umidade conforme pode ser verificado na tabela 5 abaixo:

Tabela 5: Variação dos poderes caloríficos com a umidade da lenha. Fonte: Branco – 2005.

Umidade %	PCS K[cal]/k[g]	PCI K[cal]/k[g]
0	5086	4756
10	4575	4221
15	4321	3954
20	4067	3687
30	3558	3153
40	3050	2619
50	2542	2085
60	2033	1551
70	1525	1016
80	1017	482

A partir da tabela acima e do conhecimento da umidade do rejeito é possível determinar o PCS e PCI do combustível. O valor do PCI adotado para análise foi de 3954 kcal/kg onde através de análises da umidade das amostras de rejeitos adotaram um valor médio de 15% de umidade.

A tabela 6 contém os dados termodinâmicos, do ciclo proposto, utilizados no decorrer do trabalho de aproveitamento dos resíduos da madeira para queima em uma termoelétrica e geração de eletricidade em uma turbina. Os valores de entalpia foram encontrados a partir da simulação dos dados de pressão, vazão e temperatura de trabalho a partir do software Computer Aided Thermodynamic:

Tabela 6: Dados do Ciclo Rankine com superaquecimento. Fonte: Software Thermodynamic

Fluxo	Vazão Mássica (kg/s)	Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Entalpia (kJ/kg)
1	3,59	480	6,5	3368
2	3,59	99,62	0,1	2675
2s	3,59	99,62	0,1	2457
3	3,59	99,62	0,1	417,4
4	3,59	100,3	6,5	425,01
4s	3,59	100,1	6,5	424,1

O regime de operação foi considerado como 24 horas por dia em um ano com 365 dias e foram reservados 10 dias por ano para manutenção do sistema, totalizando 8520 horas de operação por ano. A partir do volume de biomassa, densidade e horas de operação estimadas, foi calculada uma vazão mássica dos rejeitos de biomassa no valor de 21.774.709 kg/ano ou 2.555 kg/h o que resulta em 0,71 kg/s.

Para o estudo de conservação de energia, foi considerado um período de 2 anos para implantação da planta, períodos onde ocorrem os investimentos de instalação. E uma vida útil de 20 anos desconsiderando a venda dos equipamentos ao final do período.

Segundo Guidolini & Sousa (2006), para o custo com energia foi considerado um reajuste de 13% aa. Será assumido um valor de 45% correspondentes a impostos sobre o preço de venda da energia. Foi considerado o custo do transporte de R\$2,50 por metro cúbico de biomassa. Os custos dos equipamentos de controle

de emissão de particulado estão inclusos no valor dos equipamentos e infraestrutura de implantação. Para mão de obra operacional e manutenção foi considerado para os primeiros 5 anos o percentual de 2% do valor da aquisição dos equipamentos, e demais anos o percentual de 5% do investimento.

De forma geral, as reduções de emissão de CO₂ de um projeto são calculadas multiplicando-se a energia líquida fornecida pela atividade do projeto para a rede interligada pelo fator de emissão da linha de base para projetos de MDL. O fator de emissão neste trabalho será o publicado pelo MCT no ano de 2009 com o valor de 0,0246 tCO₂/MWh.

5.2 Adequação do Dimensionamento motriz

5.2.1 Método da Rotação

Conforme Guardia e Bortoni (2007), o IC pode ser facilmente estimado através de medição de campo usando a seguinte expressão:

$$IC = \frac{n_t}{n_N} \times \frac{n_S - n_t}{n_S - n_N}$$

Equação 4 - Índice de carregamento pelo método da rotação

Nestas expressões n é a rotação [rpm] e os índices t, N, e S significam trabalho, nominal e síncrono, respectivamente.

5.2.2 Método da corrente de linha

Outra forma de se fazer a análise sobre o carregamento de motores é utilizando a medição da corrente de linha:

$$IC = \frac{2I_t - I_o}{2I_N - I_o}$$

Equação 5 - Índice de carregamento pelo método da corrente elétrica

Nestas expressões I é a corrente elétrica [A] e os índices t, N, e 0 significam trabalho, nominal e vazio, respectivamente.

5.2.3 Método da linearização

Conforme Haddad et al. (2006), “uma das técnicas mais simples e confiáveis para tecer avaliações de carregamento é o método da linearização”. Este método se baseia no fato de que a curva de conjugado versus rotação, dentro da região de operação do motor, pode ser aproximada por uma reta. A figura 19 abaixo ilustra o exposto

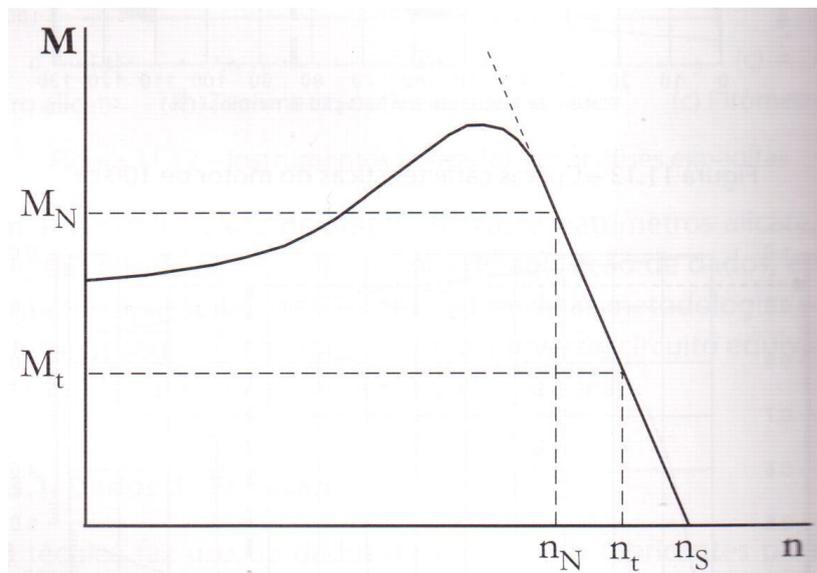


Figura 19 - Gráfico da linearização da curva de conjugado.

Nestas condições, pode-se obter o conjugado de trabalho conhecendo-se o conjugado e rotação nominais e a rotação síncrona, da seguinte forma:

$$M_t = M_N \left(\frac{n_s - n_t}{n_s - n_N} \right)$$

Equação 6 - Conjugado de trabalho

Onde M é o conjugado [cv/rpm] e n é a rotação [rpm], os índices t, N e s correspondem aos pontos de trabalho, nominal e síncrono, respectivamente. O conjugado nominal é dado por:

$$M_N = \frac{P_N}{n_N}$$

Equação 7 - Conjugado nominal

Onde P_N é a potência elétrica nominal [cv] do motor. A potência de trabalho (P_t) será dada por:

$$P_t = M_t \times n_t$$

Equação 8 - Potência de trabalho

Onde M_t é o conjugado de trabalho [cv/rpm] e n é a rotação [rpm], o índice t corresponde ao ponto de trabalho. Assim, o IC pode ser obtido pela relação entre a potência de trabalho e a potência nominal do motor:

$$IC = \frac{P_t}{P_N}$$

Equação 9 - Índice de carregamento pelo método da linearização

Na impossibilidade da medição da rotação, pode-se estimá-la a partir da linearização da curva da corrente versus rotação do motor com a medição da corrente de operação. Esta análise pode ser obtida a partir do comportamento linear de um motor na região de operação normal de funcionamento (Haddad, Jamil et al. 2006). Estas características são mostradas na figura abaixo:

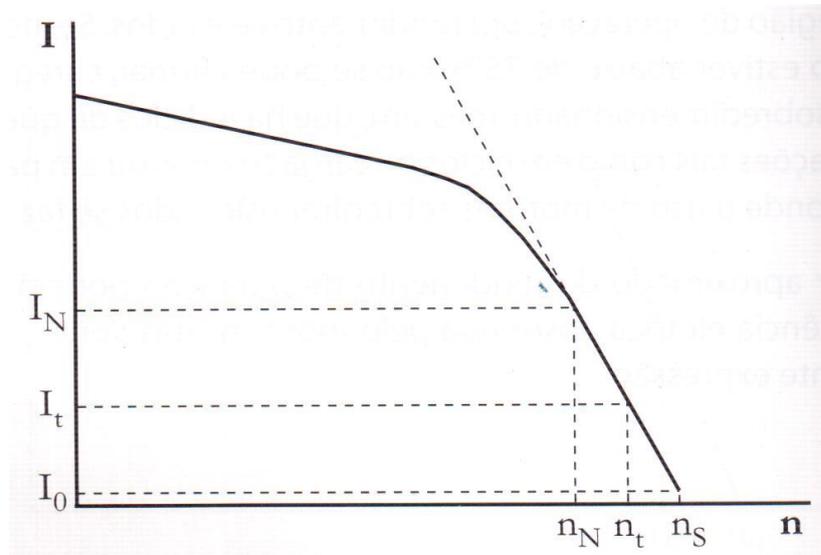


Figura 20 - Gráfico da linearização da curva de corrente.

Com base nas informações do gráfico da linearização da corrente é possível determinar a rotação de trabalho do motor conforme a equação abaixo:

$$n_t = n_s - \frac{I_t - I_0}{I_N - I_0} \times (n_s - n_N)$$

Equação 10 - Rotação de trabalho

Nesta expressão tem-se a corrente nominal (I_N), a corrente em vazio (I_0) e a corrente de trabalho (I_t). No caso dos motores deste estudo, estes estão acoplados através de uma correia, a corrente em vazio poderá ser medida através da retirada ou simples afrouxe desta correia. Quando não for possível desacoplar o motor da carga, pode-se estimar o valor da corrente em vazio usando a seguinte expressão:

$$I_0 = \frac{A_0 - B_0 \times \ln(P_N)}{100} \times I_N$$

Equação 11 - Corrente em vazio

Onde P_N é a potência nominal do motor em [cv], A_0 e B_0 são coeficientes que variam com o número de pólos do motor e estão disponíveis nos catálogos dos fabricantes

5.2.4 Método da Curva de desempenho

A análise sobre o carregamento de motores é utilizando os catálogos dos fabricantes que possuem as curvas de desempenho. Com as curvas é possível determinar além do IC, o rendimento, potência de trabalho, escorregamento, corrente elétrica e fator de potência. A partir da medição feita em campo, levando a informação da corrente na curva do fabricante mostrada no catálogo de especificações dos motores conforme o gráfico da figura 21 abaixo pode se determinar os índices de desempenho do motor e verificar quanto ao seu dimensionamento facilitando a visualização para recomendar um novo motor com características de desempenho mais adequado.

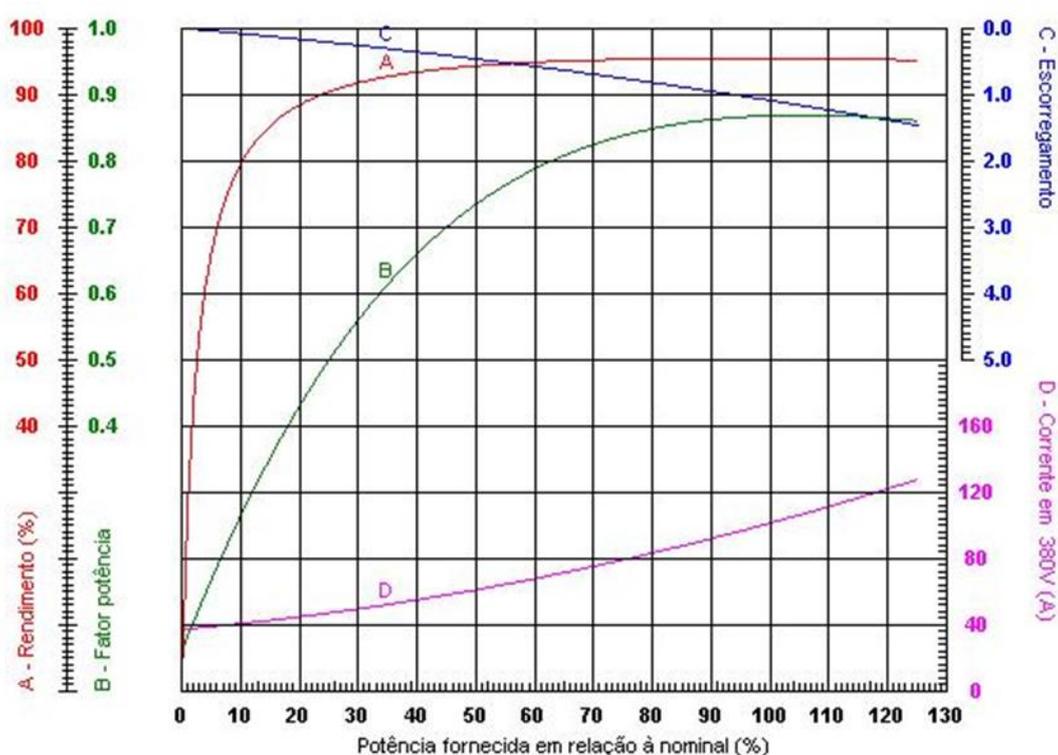


Figura 21 – Curva de desempenho. Fonte: Catálogo WEG – 2011

Com os dados de placa e medidas de corrente elétrica de funcionamento é possível montar uma planilha para os cálculos necessários da determinação do IC e rendimento dos motores utilizando as 4 metodologias apresentadas. Após ser feita a análise do carregamento do motor atual, fica evidenciado, a partir do gráfico do fabricante, o IC, escorregamento, rendimento e fator de potência.

Finalmente, se faz o uso do rendimento como indicador de eficiência energética dos equipamentos. Os motores de alto rendimento se apresentam como uma alternativa para a economia de energia em sistemas motrizes, pois possuem menores perdas nos elementos constituintes ocasionando um menor custo anual de operação.

5.3 Análise energética

No estudo de sistemas de potência a vapor o objetivo é analisar instalações de potência a vapor, nas quais o fluido de trabalho é alternadamente vaporizado e condensado. Será apresentado o ciclo a vapor idealizado para análise energética: Conforme Shapiro e Moran (2002), “o ciclo Rankine, também conhecido como ciclo a vapor, é baseado no aproveitamento térmico de um combustível para produção de vapor”. A concepção mais comum do ciclo Rankine é composta por uma caldeira, uma turbina, uma bomba e um condensador, conforme mostrada na figura 22 abaixo.

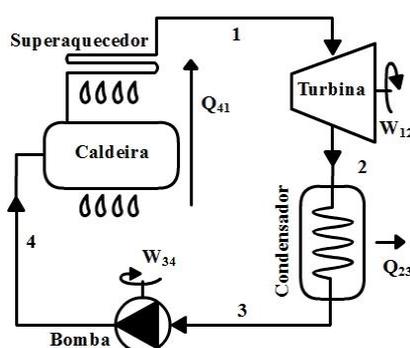


Figura 22: Ciclo Rankine. Fonte: Shapiro, N. Howard. Princípios da termodinâmica para engenheiros – 2002.

A partir da modelagem apresentada segue abaixo os dados obtidos com o auxílio do software Computer Aided Thermodynamic.

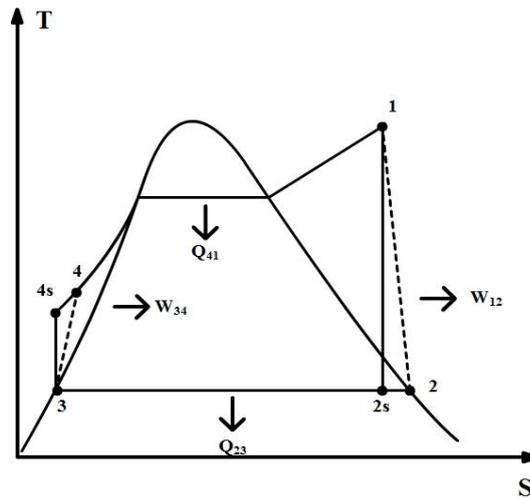


Figura 23: Gráfico ciclo Rankine com superaquecimento. Fonte: Shapiro, N. Howard. Princípios da termodinâmica para engenheiros – 2002.

Conforme o gráfico da figura 23, no Processo 1-2 acontece a expansão do fluido de trabalho através da turbina de vapor saturado no estado 1 até a pressão do condensador. No Processo 2-3 acontece a transferência de calor do fluido de trabalho à medida que ele escoar, à pressão constante, através do condensador com líquido saturado no estado três. No Processo 3-4 acontece a compressão na bomba até o estado quatro na região de líquido comprimido. No Processo 4-1 acontece a transferência de calor para o fluido de trabalho à medida que ele escoar, à pressão constante, através da caldeira para completar o ciclo.

O vapor na caldeira no estado um, tendo uma pressão e temperatura elevadas, se expande através da turbina para produzir trabalho e então é descarregado no condensador no estado dois com uma pressão relativamente baixa. Desprezando a transferência de calor com as vizinhanças, os balanços de massa e energia sob a forma de taxa para um volume de controle envolvendo a turbina simplificam-se no regime permanente a:

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[h_1 - h_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

Equação 12 - Primeira Lei da Termodinâmica

Ou

$$\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = h_1 - h_2$$

Equação 13 - Taxa de trabalho

onde \dot{m} indica a vazão mássica do fluido de trabalho, h a entalpia nos estados do processo e \dot{W}_t / \dot{m} é a taxa na qual o trabalho, por unidade de massa de vapor que passa através da turbina é produzido. Como observado, as variações de energia cinética e potencial são desprezadas. Quando são consideradas irreversibilidades a eficiência da turbina, η_t é calculada a partir da equação:

$$\eta_t = \frac{(\dot{W}_t / \dot{m})}{(\dot{W}_t / \dot{m})_s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$

Equação 14 - Rendimento da caldeira

A partir dos dados da Turbina e das considerações assumidas foram calculados os dados termodinâmicos para o ciclo, onde o valor da vazão mássica do fluido de trabalho é definido como:

$$\dot{m} = \frac{\eta_c \cdot m_{comb} \cdot PCI}{(h_1 - h_4)}$$

Equação 15 - Vazão mássica

No condensador há transferência de calor do vapor para água de arrefecimento escoando em uma corrente separada. O vapor é condensado e a temperatura da água de arrefecimento aumenta. Em regime permanente, os balanços de massa e energia sob a forma de taxa para um volume de controle envolvendo o lado onde ocorre a condensação no trocador de calor fornecem:

$$\frac{\dot{Q}_{sai}}{\dot{m}} = h_2 - h_3$$

Equação 16 - Taxa de energia

onde \dot{Q}_{sai}/\dot{m} é taxa na qual a energia, por unidade de massa de fluido de trabalho passando através do condensador, é transferido por calor do fluido de trabalho para a água de arrefecimento. Esta transferência de energia é positiva na direção na Figura 23.

O líquido condensado que deixa o condensador no ponto 3 do diagrama termodinâmico é bombeado do condensador para dentro da caldeira a uma pressão mais elevada. Tomando-se um volume de controle envolvendo a bomba e admitindo-se que não há transferência de calor alguma com relação às vizinhanças, os balanços de massa e de energia sob a forma de taxa fornecem:

$$\frac{\dot{W}_b}{\dot{m}} = h_4 - h_3$$

Equação 17 - Potência na bomba

onde \dot{W}_b/\dot{m} é a potência de entrada, por unidade de massa passando através da bomba. Esta transferência de energia é positiva na direção da seta na figura 23. Quando são consideradas irreversibilidades a eficiência isentrópica da bomba é:

$$\eta_b = \frac{(\dot{W}_b/\dot{m})_s}{(\dot{W}_b/\dot{m})} = \frac{h_{4s} - h_3}{h_4 - h_3}$$

Equação 18 - Rendimento da bomba

Onde o trabalho na bomba para o processo isentrópico aparece no numerador. O trabalho real na bomba, sendo a quantidade maior, é o denominador. Por ser trabalho na bomba tão menor que o trabalho na turbina, as irreversibilidades na bomba têm um impacto muito menor no trabalho líquido do ciclo do que no caso da turbina.

Na caldeira o calor do combustível cedido à corrente de água do sistema foi calculado a partir da seguinte equação:

$$Q_{comb} = \dot{m}_{comb} PCI$$

Equação 19 - Calor do combustível

Onde,

Q_{comb} - Calor produzido pelo combustível;

\dot{m}_{comb} - Vazão mássica do combustível;

PCI - Poder Calorífico Inferior.

O fluido de trabalho completa um ciclo com o líquido que deixa a bomba em 4, chamado de água de alimentação de caldeira, é aquecido até a saturação e evaporado na caldeira. Tomando-se um volume de controle envolvendo os dutos e tubulações da caldeira que transportam a água de alimentação do estado 4 para o estado 1, os balanços de massa e de energia sob a forma de taxa fornecem:

$$\frac{\dot{Q}_{ent}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$$

Equação 20 - Taxa de transferência de calor

onde \dot{Q}_{ent}/\dot{m} é taxa de transferência de calor da fonte de energia para o fluido de trabalho, por unidade de massa passando através da caldeira. A eficiência da caldeira, η_c , é:

$$\eta_c = \frac{Q_{ent}}{Q_{comb}} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_4)}{\dot{m}_{comb} PCI}$$

Equação 21 - Rendimento do ciclo

Segundo Shapiro e Moran (2002), o ciclo Rankine tem um rendimento de 30 a 35%. A partir do cálculo da energia disponível na biomassa e o rendimento do ciclo é possível identificar a turbina específica.

$$Q_E = \eta_{ciclo} \cdot Q_{comb}$$

Equação 22 - Calor disponível no combustível

Para o cálculo da eficiência do ciclo é utilizado a equação abaixo:

$$\eta_{Ciclo} = \frac{(\dot{W}_t/\dot{m}) - (\dot{W}_b/\dot{m})}{(\dot{Q}_{ent}/\dot{m})} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4}$$

Equação 23 - Rendimento do ciclo termodinâmico

O potencial energético do rejeito de madeira do Pólo Moveleiro de Linhares a partir de uma análise energética de um Ciclo Rankine com vapor superaquecimento foi feita como medida de conservação de energia. Os resultados desta análise possibilita verificar a viabilidade econômica da implantação de uma planta a vapor a partir da queima deste resíduo.

5.4 Análise econômica

Mesmo que as vantagens termodinâmicas sejam explícitas, decisões sobre investimento em sistema de geração de eletricidade requerem avaliações econômicas que justifiquem a implantação de novas plantas.

Conforme Franco (2004), “para a avaliação econômica e financeira dos investimentos a serem realizados para a eficiência energética em cada uso final, o método mais usado é o Pay Back Simples”. Essa análise permite uma visão geral da atratividade de um investimento na empresa. Utilizando como forma de cálculo a divisão do valor do investimento pela economia mensal obtida com o uso final eficiente. Porém, em relação a outros métodos, oferece uma visão rápida e antecipada dos investimentos a serem efetuados.

Para cada motor, os dados de entrada são analisados para efeito da análise econômica: número de horas de funcionamento anual; vida útil; taxa de juros; aumento no preço da energia acima da inflação; horizonte de planejamento; preço do consumo e da demanda de energia elétrica, preço dos motores e custo de manutenção. Esse indicador será utilizado para análise econômica do presente trabalho.

Segundo Branco (2005),

[...] existem algumas opções para estimativas de equipamentos, a melhor delas é a consulta direta aos fabricantes, porém esta metodologia pode ser muito demorada dependendo do tipo e porte dos equipamentos. Outra fonte de informações importante e que também deve ser considerada é baseada na opinião de pessoas experientes.

O método que mais se adequa a dinâmica do presente trabalho será adotado conforme é descrito a seguir. Uma das formas de se fazer esta estimativa é através da extrapolação a partir de preços de equipamentos conhecidos. A conversão do custo em relação à capacidade ou tamanho do equipamento pode ser feita comparando-se equipamentos iguais, mas de tamanho ou capacidade diferentes, de acordo com a seguinte correlação.

$$C_y = C_x \left(\frac{S_y}{S_x} \right)^\alpha$$

Equação 24 - Custo de equipamento

Onde:

C_y - Custo do equipamento “y” que se deseja determinar;

C_x - Custo do equipamento “x” conhecido;

S_y - Variável de conversão (tamanho ou capacidade) do equipamento “y”;

S_x - Variável de conversão (tamanho ou capacidade) do equipamento “x”;

α - Fator de escala em função do tipo de equipamento.

Os custos para instalação da planta levando em consideração todas as disciplinas envolvidas foram estimados onde são utilizados percentuais sobre o custo dos equipamentos conforme tabela 7.

Tabela 7: Distribuição dos custos. Fonte: Branco – 2005.

Distribuição dos Custos	Custo da Instalação (%)
Custos Diretos	
Equipamentos	100
Instalações	12
Tubulações	15
Instrumentação	8

Elétrica	5
Engenharia Arquitetura	10
Infra-estrutura e apoio	5
Custos Indiretos	
Eng. Supervisão	12,4
Construção Civil	15,5
Imprevistos	9,15
Custo de Manutenção / Operação	5
Custo Total	197,05

Na década passada o setor energético passou por uma reestruturação consistindo, principalmente, numa mudança do mercado monopolista procurando tornar o mercado mais competitivo. Tal fato tem ocorrido principalmente na comercialização e geração de energia. A comercialização dos insumos e produtos das empresas é dependente das negociações de compra e venda, isto faz com que o mecanismo de leilão se insira no contexto de mercado como forma de negociação. Da mesma forma as empresas geradoras de eletricidade podem preferir vender eletricidade ou aumentar os níveis das barragens esperando períodos de estiagem buscando vender a eletricidade a um custo estrategicamente mais viável.

5.5 Análise Ambiental

Após a crise energética ocorrida em 2001, como o incremento na oferta energética foi criada a resolução nº 279 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos de geração de eletricidade com pequeno potencial de impacto ambiental. Dado que usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, abaixo de 10MW não requer avaliação de impacto ambiental, como requerimentos mínimos são apenas exigidos a descrição do projeto, diagnóstico e prognóstico ambiental e medidas mitigadoras e compensatórias que irão para avaliação no órgão ambiental responsável.

Neste estudo será proposta uma forma de aproveitar energia do processo de fabricação de móveis na cidade de Linhares-ES. A proposta é a utilização dos resíduos de madeira, gerados a partir da linha de processo de fabricação de móveis como combustível na geração de energia elétrica a ser comercializada junto a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

O aproveitamento do resíduo de madeira para a geração de eletricidade apesar de mostrar vantagens sobre a implantação de um aterro sanitário trás também, assim como outros métodos de geração tal como o hidráulico, térmico e nuclear, o problema da sua própria interferência no ambiente. Os maiores impactos vêm dos efeitos das emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos e o consumo de água.

A contaminação de efluentes líquidos é devido ao tratamento da água utilizada no processo possuindo reagentes químicos necessários à desmineralização. A presença de minerais na água de processo causa oxidação, incrustações e mudança do perfil aerodinâmico das paletas da turbina. Como o sistema de vapor opera em circuito fechado, o tratamento de água envolve apenas mínimas quantidades, não gerando volumes de resíduos significativos e são tratadas e diluídas antes de serem descartadas. Limpeza de torres de resfriamento e caldeiras gera resíduos não tóxicos ao meio ambiente. Outro motivo de descarte de fluido em uma caldeira, é a purga do tambor, usada para tirar a sílica dissolvida na água do tambor assim melhorando a eficiência térmica da planta. Devido ao pequeno tamanho da central geradora analisada neste trabalho, assim, não serão consideradas as interferências que e os efluentes líquidos irão causar ao ambiente.

Conforme Horta (2003), o resíduo sólido mais relevante produzido por uma planta termoelétrica movida a biomassa é a produção de cinzas. As cinzas ao serem dispostas em pátios vêm agravar a poluição visual, contaminação dos solos e lençóis freáticos. Como solução para o problema da destinação final das cinzas tem-se sua comercialização, uma vez que pelas suas propriedades físicas e químicas as cinzas têm excelente aceitação por parte das indústrias de cimento, cerâmica, vidro e tintas.

A emissão de resíduos para a atmosfera é o fator mais impactante do ponto de vista ambiental das usinas termoelétricas. Nas proximidades da usina, o material

particulado emitido, tende a afetar a saúde humana caso haja alta concentração e exposição prolongada. No transporte de resíduos para destinação final emitem-se gases nas descargas dos veículos. Nos gases produzidos com a queima dos resíduos da madeira são liberados para a atmosfera óxidos de enxofre (SO₂) os quais reagem com o vapor da água produzindo ácido sulfúrico (H₂SO₄), que é diluído na água da chuva e dando origem a chuva ácida que contamina o ambiente afetando animais, vegetais e estruturas metálicas devido à corrosão. Como a maior parte do carbono presente nos combustíveis é emitida na forma de CO₂, as emissões das usinas termoeletricas num âmbito global vêm a contribuir negativamente com o efeito estufa.

A análise do impacto ambiental vem das emissões de CO₂ em termoeletricas a gás, carvão, óleo, etc. causadas devido o consumo de eletricidade nas fábricas de móveis.

Conforme Haddad et al. (2006), a tabela 8 abaixo mostra os fatores de emissão de CO₂ para a geração de eletricidade usando como combustível em termoeletricas o bagaço da cana de açúcar, madeira, óleo e gás natural:

Tabela 8 - Fator de Emissão de CO₂/kWh/combustível. Fonte: Haddad, 2006, pg.43.

Combustível	Emissões [kgCO₂/kWh]
Bagaço de cana de açúcar	0,057 – 0,11
Madeira	0,0465
Óleo Preto	0,87
Gás Natural	0,38

Conforme a tabela 8 acima é possível calcular a quantidade de CO₂ emitido à atmosfera em termoeletricas a partir da quantidade de energia gerada e tipo de combustível. Por se tratar de uma planta de pequeno porte e pelas características do combustível utilizado, a biomassa, o resíduo atmosférico mais preocupante é o material particulado, que será tratado em processos pós combustão que consistem de filtros de tecido ou então de precipitadores eletrostáticos cuja função é reter essas partículas antes que elas venham a ser emitidas à atmosfera.

O MCT publica dois tipos de fatores de emissão de CO₂ para energia elétrica: um para ser usado em projetos de MDL e outro para ser usado em Inventários.

Conforme o Ministério de Ciência e Tecnologia (2010),

[...] os fatores de emissão de CO₂ calculados de acordo com a ferramenta metodológica “Tool to calculate the emission factor for an

electricity system” aprovada pelo conselho executivo do MDL tem como objetivo estimar a contribuição, em termos de redução de emissões de CO₂, de um projeto de MDL que gere eletricidade para a rede. O fator de emissão do sistema interligado para fins de MDL é uma combinação do fator de emissão da margem de operação, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ da energia despachada na margem, com o fator de emissão da margem de construção, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ das últimas usinas construídas.

É um algoritmo amplamente utilizado para quantificar a contribuição futura de uma usina que vai gerar energia elétrica para a rede em termos de redução de emissões de CO₂ em relação a um cenário de base. Esse fator serve para quantificar a emissão que está sendo deslocada na margem. A sua utilidade está associada a projetos de MDL e se aplica, exclusivamente, para estimar as reduções certificadas de emissões dos projetos de MDL.

Conforme Petry e Moreira (2008),

[...] os fatores de emissão de CO₂ resultantes da geração de energia elétrica verificada no SIN do Brasil são calculados a partir dos registros de geração das usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e, em especial, nas usinas termoelétricas. Essas informações são necessárias aos projetos de energia renovável conectados à rede elétrica e implantados no Brasil no âmbito do MDL.

Conforme Folego (2011), “o Brasil é o terceiro país com o maior número de projetos de MDL. Os países emergentes podem, voluntariamente, desenvolver projetos de redução de emissão, para posterior venda desses créditos para países desenvolvidos”. Os fatores de emissão médios de CO₂ para energia elétrica a serem utilizados em inventários têm como objetivo estimar a quantidade de CO₂ associada a uma geração de energia elétrica determinada. Ele calcula a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem. Deve ser usado quando o objetivo for quantificar as emissões da energia elétrica que está sendo gerada em determinado momento. Ele serve, portanto, para inventários em geral, corporativos ou de outra natureza.

Neste trabalho não serão discutidos os aspectos da política de MDL, seus pontos positivos e negativos, no objetivo de tornar o consumo mais sustentável no planeta cada vez mais poluente. As conseqüências que as medidas de MDL

resultam na sociedade desenvolvida e subdesenvolvida será uma proposta para estudos futuros e complementares a este trabalho.

6 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia do estudo, compreendendo o modelo, hipótese, justificativa e procedimentos do método de pesquisa utilizado das pesquisas realizadas em campo.

O modelo analítico da pesquisa apresenta três fases não consecutivas, a saber: levantamento da fundamentação teórica do estudo com informações primárias e secundárias, realização de pesquisa de campo junto às fábricas A e B e elaboração de cálculos técnicos, econômicos e ambientais do aumento da eficiência energética do fabricação de móveis.

Dessa forma, a abordagem das atividades de consumo e eficiência energética compreendeu:

- Levantamento do estado da arte do tema, a partir de fontes e dados secundários;
- Coleta de informações primárias como fluxogramas, custos com materiais e insumos, relatórios de rotina de trabalho e sites;
- Identificação do fluxo de materiais e informações de processo nas fábricas analisadas;
- Identificação das atividades e equipamentos de maior consumo de eletricidade nas fábricas analisadas;
- Identificação das medidas necessárias à adequação do sistema de consumo de eletricidade na atividade moveleira.

A hipótese básica que orientou o estudo foi o questionamento quanto à adoção das ações essenciais da utilização adequada da energia elétrica no processo na busca do uso sustentável da eletricidade na fabricação de móveis.

O modelo de investigação empírica explicita as considerações metodológicas e a justificativa do método de pesquisa utilizado, assim como os procedimentos de levantamento e análise de dados, considerando-se as particularidades da pesquisa no campo da gestão energética moveleira.

Neste estudo utilizam-se as considerações de Moura Castro (1978:35), que aponta a “metodologia como um conjunto de regras de como proceder no curso da investigação”, e as de Gay & Diehi (1992:6), segundo as quais “o método científico ordena uma pesquisa genérica de acordo com as seguintes etapas:

- Reconhecimento e definição do problema;
- Formulação de hipóteses;
- Coleta e análise dos dados;
- Apresentação das conclusões, buscando a confirmação ou negação das hipóteses”.

O coleta de dados possui um caráter qualitativo com entrevistas aos profissionais do setor de produção e visitas em campo para a familiarização com os ambientes moveleiro analisado. Conforme Aaker & Day (1982), o objetivo de maior interação com o entrevistado, de tal forma que as informações apresentem maior profundidade e riqueza de explicações, e o número relativamente pequeno de respondentes, só parcialmente representativo da população, justificam a caracterização da pesquisa como qualitativa.

A estratégia da pesquisa conforme Yin (1990:13) apresenta três pontos básicos a serem considerados para a determinação do método de realização de uma entrevista, quais sejam:

- O tipo de questão a se pesquisar;
- O controle do pesquisador sobre os comportamentos real dos eventos e;
- O foco em fenômenos contemporâneos, ao invés de situações do passado.

Para a adequação do estudo de caso como método de pesquisa, Yin sugere que as perguntas sejam do tipo “como” e “por que”, tendo o pesquisador um pequeno controle sobre os eventos e que o foco seja em eventos atuais num contexto real.

Tecnicamente, Yin (1990:23), define estudo de caso “como uma investigação empírica que:

- Trata de um fenômeno contemporâneo num contexto de situação real;
- As fronteiras entre o fenômeno e seu contexto não é claramente evidente e;
- Utiliza múltiplas fontes de evidência”.

As unidades de análise, no presente trabalho, referenciam-se às fábricas A e B do pólo moveleiro de Linhares-ES e se constituem no sistema de consumo de

eletricidade destas fábricas com a sua curva de consumo e nos motores do sistema de ventilação. A análise de geração de eletricidade a partir dos resíduos gerados é realizada em todo o pólo, conforme relatório e diálogos com profissionais do sindicato moveleiro de Linhares e empresas transportadoras de resíduos. Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo estudar as características de consumo de eletricidade verificando sua economia e redução do impacto ambiental na emissão de CO₂ na geração de eletricidade do SIN.

O método de coleta de dados foi realizado a partir da comunicação e observação. Os profissionais contatados responderam a questionamentos na fase de observação, na qual o entrevistador coletará dados a partir da visualização do ambiente e suas interfaces com a gravação de interesse por meio de fotografias. A busca de material interno das ações executadas pelos departamentos de planejamento da produção e manutenção das fábricas é uma ação eficiente de buscar informações atuais e assim foi realizado pelo autor.

O período de realização da pesquisa de campo foi de 10 dias (fev/2010 a jun/10). Entrevistaram-se de 1 a 3 indivíduos por fábrica, sendo entrevistas programadas para um período de tempo em torno de 2 a 4 horas, em função da extensão da pesquisa e disponibilidade do entrevistado. Isso apresentou um total de 40 horas de pesquisa de campo. Optou-se por não gravar as entrevistas, tomando-se notas durante sua realização para não inibir os respondentes.

O método da análise dos dados primários foi a análise do conteúdo das entrevistas e visita de campo tendo-se por objetivo a sua interpretação. As citações de respostas individuais se justificam de modo a ilustrar melhor os pontos de vista dos respondentes para as questões levantadas.

Foram utilizados dados secundários disponíveis em publicações e periódicos sobre o tema e sobre o setor – alvo da pesquisa, correspondendo também a livros, dissertações e teses já produzidas, além de fontes estatísticas e informações de instituições ligadas ao setor moveleiro.

A maior limitação do método do estudo de caso é a de não se permitir generalização para a população, da qual se extraiu uma amostra para pesquisa. Embora com a profundidade adequada, ainda se mostraram em pequeno número e seu objetivo de uso é o da replicação, e não a de sua generalização. Essa limitação, conforme

afirma Yin (1990:13) é comum a outros métodos de pesquisa, por exemplo, o de experimentos.

A metodologia deste estudo inicia com uma análise das condições do uso final da eletricidade na empresa buscando por pontos de desperdício e da oportunidade de aproveitar os resíduos do processo para gerar eletricidade. A partir de um diagnóstico energético é feita a análise do consumo de eletricidade e seu potencial de economia na linha de produção. Assim, propostas de melhorias são feitas na busca do uso eficiente da energia. Após análise técnica do projeto de eficiência energética, todas as propostas sugeridas no mesmo serão analisadas financeiramente. A análise financeira consiste no cálculo do Pay Back simples. A figura 24 abaixo mostra o fluxograma do desenvolvimento de um diagnóstico em uma instalação:

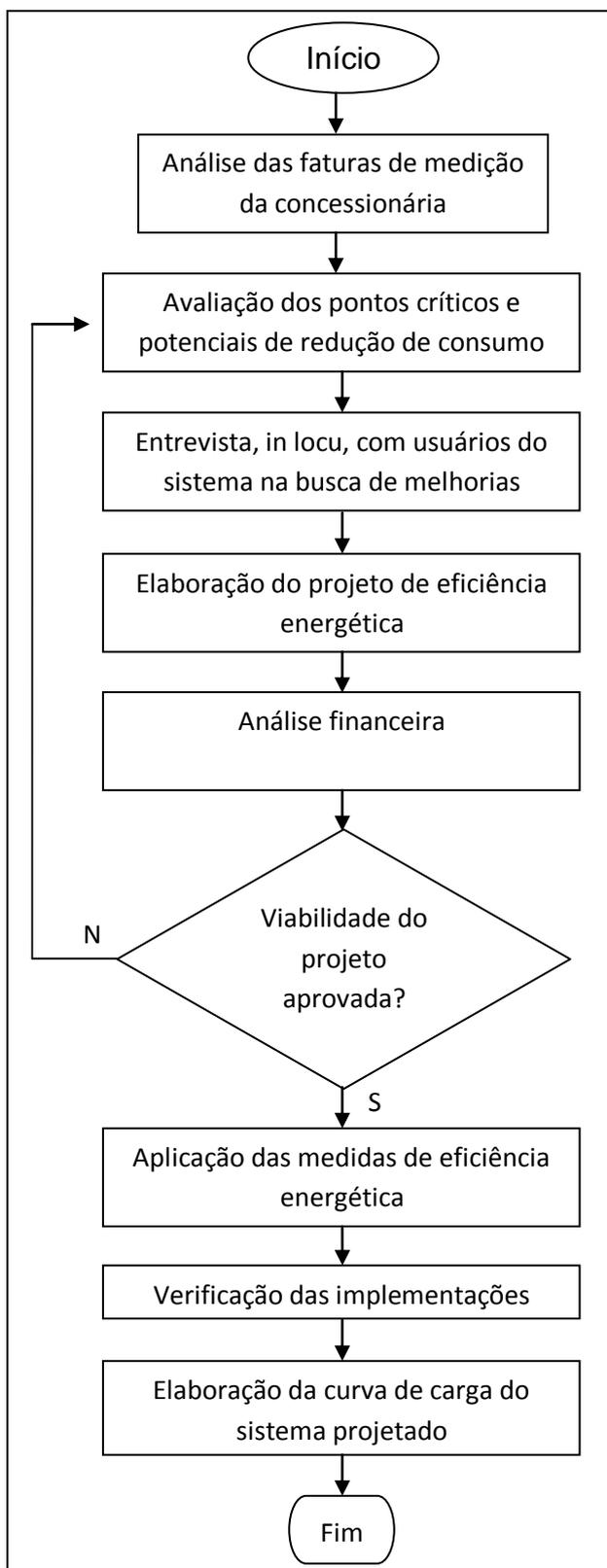


Figura 24 - Diagnóstico energético, Fonte: Resultados do Trabalho.

O diagnóstico energético busca analisar o contrato de fornecimento com a real curva de perfil da empresa e do consumo de energia final nos equipamentos da instalação. Normalmente, o diagnóstico energético trata dos equipamentos como os do sistema de exaustão, ventilação, ar comprimido, condicionamento ambiental, transferência de calor, transformadores, motores de indução, bombas, iluminação e distribuição de energia. Neste estudo será apresentada a análise de adequação de demanda com o levantamento do potencial de redução de consumo de eletricidade em motores do sistema de exaustão e o aproveitamento de resíduos para geração de energia elétrica a partir de um ciclo Rankine a vapor superaquecido.

6.1 Perfil de consumo

A identificação do perfil de consumo de eletricidade é uma forma utilizada pelos gestores da empresa para se dispor as ordens de produção conforme um mix de produtos. A análise do consumo de uma instalação é uma forma eficiente de adequar o perfil de consumo à energia contratada junto à concessionária. O fluxograma da figura 25 abaixo mostra o método de determinação da adequação da curva de demanda:

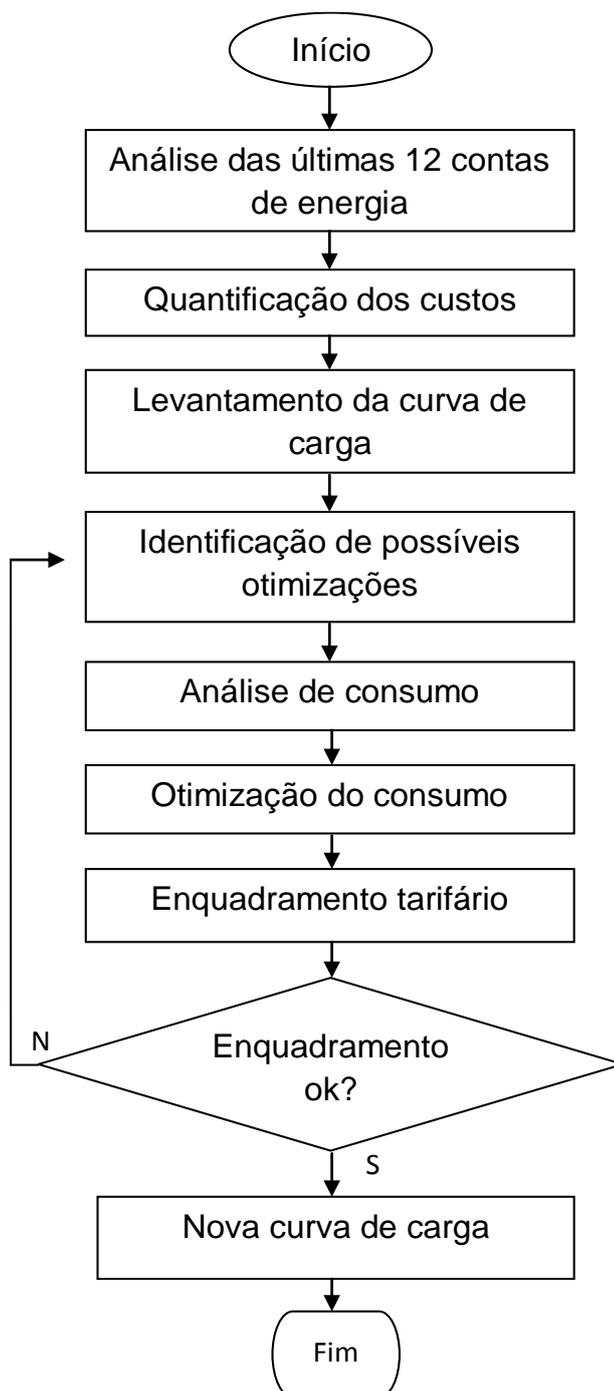


Figura 25 - Fluxograma de trabalho de adequação tarifária. Fonte: Resultados do trabalho.

A análise das contas de energia foi realizada a partir do software webenergy instalado em um equipamento conectado em paralelo ao relógio de medição da concessionária local. A quantificação dos custos foi possível a partir das informações do departamento de PCP. As análises do consumo foram realizadas a partir da segmentação das cargas instaladas em relação aos setores de consumo demonstrando, assim, os setores que possuem maior significância no consumo de

eletricidade na empresa. A análise do enquadramento tarifário foi realizado a partir da simulação do consumo atual nos modelos de tarifação existentes na concessionária. Para tanto foi montada uma planilha de cálculo para esta função.

A busca de um sistema mais adequado de curva de consumo de eletricidade deve ser acompanhado do empenho dos departamentos de PCP e Manutenção pois, respectivamente, busca alinhar a demanda de produção à curva de demanda de energia e mantém disponível o maquinário para operação. Assim, a gestão da energia é uma atividade multidisciplinar e contínua.

6.2 Índice de Carregamento

A metodologia aplicada no diagnóstico energético das medidas de eficiência energética em motores é dividida em 3 etapas:

- I- Coleta de dados: Leitura de dados de placa e medições das grandezas de funcionamento dos motores da instalação. Análise das condições de operação e manutenção. Utilização de equipamentos como multímetro e tacômetro;
 - II- Análise e interpretação técnica – interpretação de dados e medições. Utilização de metodologias e cálculos visando a identificação do potencial de economia de energia;
 - III- Recomendação – Propostas de uso eficiente de eletricidade no sistema motriz.
- Conforme Carlos A. Teixeira et al. (2004),

Não se dispõe de metodologias que sistematizem o uso de tração elétrica e, ainda, a não integração de programas computacionais de curvas características de motores elétricos, planilhas de cálculo e programas de digitalização de curvas. Como exemplo, cita-se a não integração dos programas de dimensionamento de compressores e ventiladores, com os de adequação de força motriz.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo utilizar uma metodologia específica para racionalização do uso de energia elétrica na força motriz e

apresentar, como estudo de caso, uma análise de adequação do dimensionamento de motores do sistema de exaustão.

O fluxograma da figura 26 abaixo ilustra o raciocínio adotado para fazer a análise de carregamento dos motores elétricos para verificar o seu dimensionamento em relação à carga.

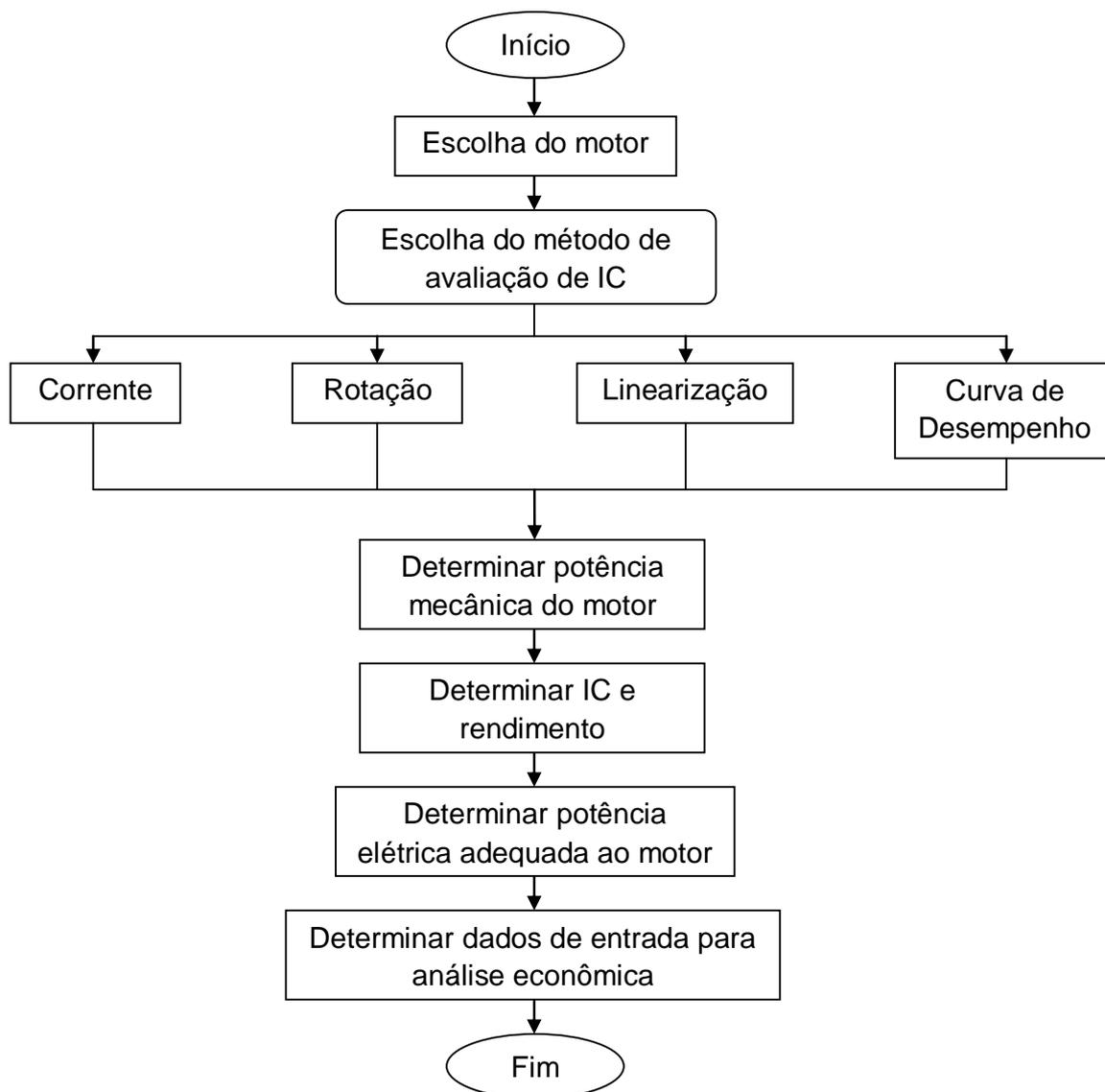


Figura 26 - Fluxograma de trabalho de adequação motriz.

O IC pode ser determinado de várias formas, o normativo e o expedito. O método normativo é aquele realizado em laboratório. O método expedito é utilizado em campo. Neste estudo foi abordado os seguintes métodos expeditos:

- Método da rotação;

- Método da corrente de linha;
- Método da Linearização;
- Método da Curva de desempenho.

A análise dos métodos possibilitou a elaboração de uma planilha de cálculos que condense os resultados dos métodos citados acima.

6.3 Ciclo Rankine

A metodologia aplicada das medidas de conservação energética para o aproveitamento dos resíduos do processo também é dividida em 3 etapas:

- I- Coleta de dados: Levantamento do volume, densidade, poder calorífico do resíduo gerado pelo pólo moveleiro;
- II- Análise e interpretação técnica – interpretação dos dados utilizando cálculos, softwares e tabelas termodinâmicas para o ciclo de geração;
- III- Recomendação – Propostas de aproveitamento da energia com utilização de um ciclo termodinâmico.

O fluxograma da figura abaixo ilustra o raciocínio adotado para fazer a análise do dimensionamento de uma central geradora de eletricidade:

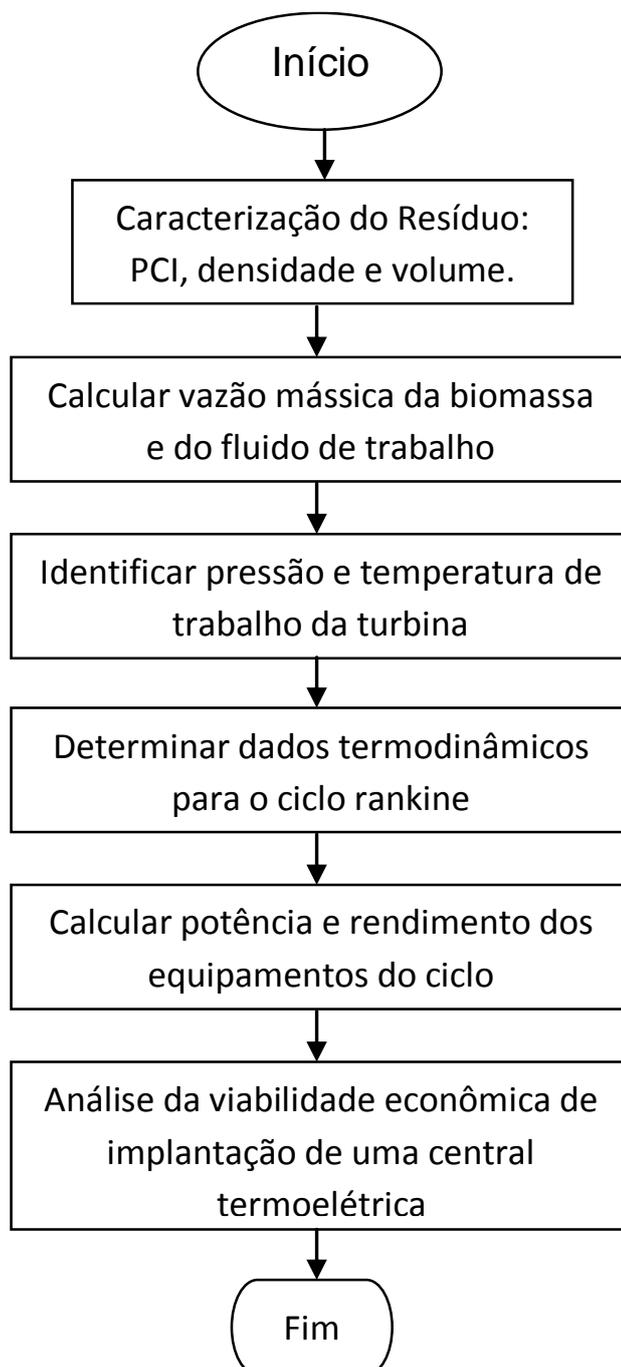


Figura 27 - Fluxograma de projeto de central termoelétrica. Fonte: Resultados da pesquisa.

As tabelas 4 e 5 citadas anteriormente mostram as características do resíduo da madeira produzido na fabricação de móveis das empresas estudadas. A equação 15 mostra como determinar a taxa de vazão mássica da biomassa. A figura 23 e a tabela 6 mostram o comportamento e os dados de pressão e trabalho do ciclo termodinâmico proposto, respectivamente.

6.4 Viabilidade econômica

O Payback é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento. Para a análise da viabilidade econômica do projeto foram elaboradas as planilhas constantes nos Anexos B e C onde o fluxo de caixa mostra o investimento inicial, os períodos de despesas e receitas e o tempo de recuperação do capital.

6.5 Viabilidade Ambiental

Os fatores de emissão de CO₂ calculados de acordo com a ferramenta metodológica “Tool to calculate the emission factor for an electricity system, versions 1, 1.1 and 2” aprovada pelo Conselho Executivo do MDL têm como objetivo estimar a contribuição, em termos de redução de emissões de CO₂, de um projeto de MDL que gere eletricidade para a rede. Resumidamente, o fator de emissão do sistema interligado para fins de MDL é uma combinação do fator de emissão da margem de operação, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ da energia despachada na margem, com o fator de emissão da margem de construção, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ das últimas usinas construídas. É um algoritmo amplamente utilizado para quantificar a contribuição futura de uma usina que vai gerar energia elétrica para a rede em termos de redução de emissões de CO₂ em relação a um cenário de base. Esse fator serve para quantificar a emissão que está sendo deslocada na margem. A sua utilidade está associada a projetos de MDL e se aplica, exclusivamente, para estimar as reduções certificadas de emissões dos projetos de MDL.

De forma geral, as reduções de emissão de CO₂ de um projeto são calculadas multiplicando-se a energia líquida fornecida pela atividade do projeto para a rede

interligada pelo fator de emissão da linha de base calculada pelo ONS e disponibilizada pelo MCT.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Curva de consumo

A análise do consumo de energia da instalação mostra o perfil de utilização da eletricidade junto à rotina de produção. Conforme a observação nas curvas de consumo do software Webenergy é possível concluir a correta adequação do contrato de fornecimento ou a oportunidade de mudança na busca da redução de ociosidades e ultrapassagens que refletem no mau uso da energia disponível. A figura 28 abaixo mostra a curva de demanda medida e contratada, na empresa A, em intervalos de 15 minutos no dia 7 de outubro de 2010 conforme medição da concessionária:

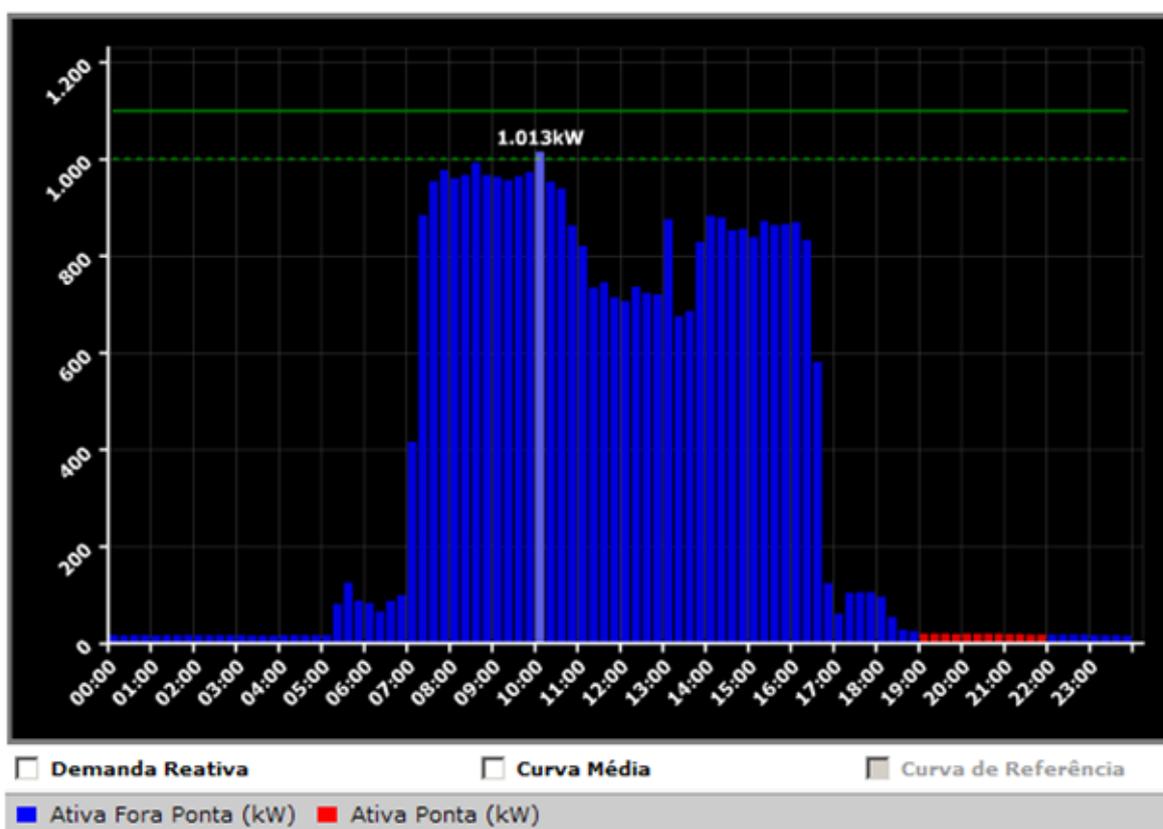


Figura 28 - Demanda medida na fábrica A - 07/10/10. Fonte: www.webenergy.com.br

Como pode ser observado na figura acima, a modulação de carga está bastante irregular neste dia, ou seja, baixo FC. Considerando somente o período de funcionamento, das 8:00 às 18:00h a demanda de energia é, também, irregular, demonstrando esta baixa otimização da modulação da carga. A demanda medida está bem próxima da contratada no período matutino chegando até a ultrapassar em 13 kW às 10:00h da manhã. Durante o almoço e no período vespertino existe ociosidade no sistema elétrico conforme observação nas medições a partir das 11:00h. Essa irregularidade é resultado de uma baixa eficiência do mix de produção neste dia, ou seja, o departamento de PCP influenciou negativamente no consumo de energia adequado da instalação. Mesmo que em alguns dias do mês o FC esteja irregular, ou seja, com curva de consumo diferente da curva de fornecimento, em todos os intervalos de medições da concessionária existem intervalos em que a demanda medida ultrapassa a contratada (sem exceder o limite de 10%) resultando assim numa demanda medida próxima da contratada e, erroneamente, considerada adequada à instalação. A figura 29 abaixo mostra a curva de demanda medida e contratada, na empresa B, no dia 7 de outubro de 2010:

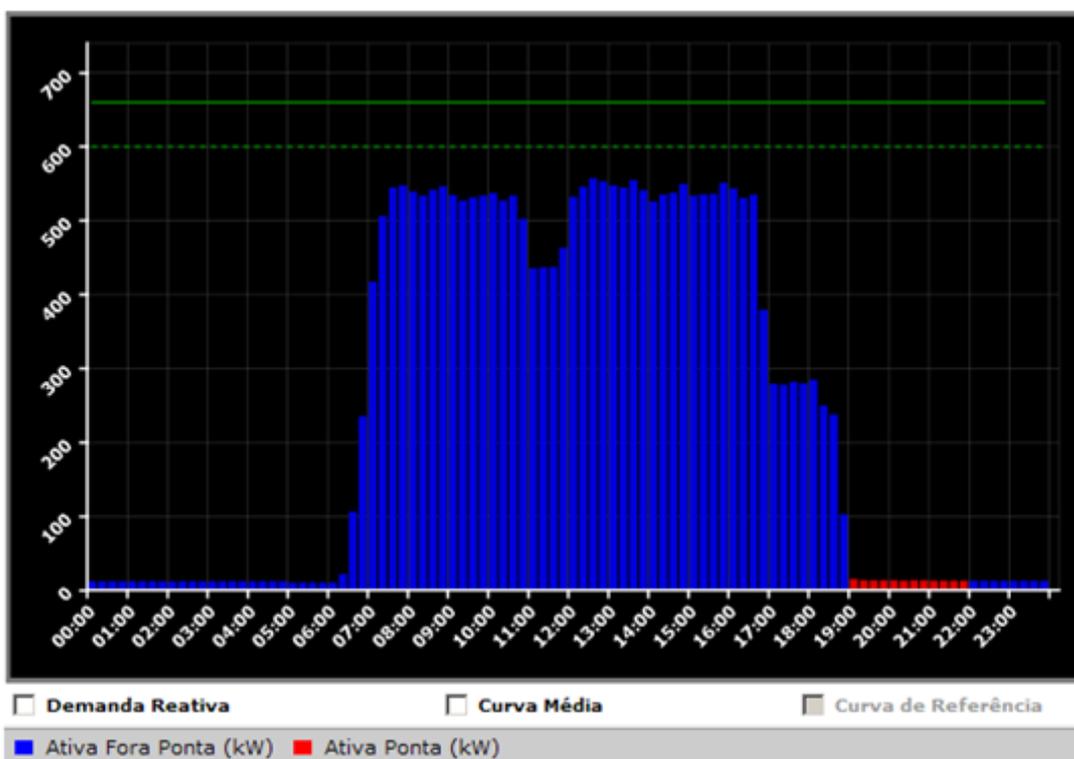


Figura 29 - Demanda medida na fábrica B - 07/10/10. Fonte: www.webenergy.com.br

O FC da fábrica B também é baixo e pode-se observar a demanda contratada está bem acima da demanda medida, ou seja, existe ociosidade entre a demanda real e a contratada. Isso representa desperdício de energia, podendo a empresa, buscar melhorar seu mix, aumentar o volume de produção ou reduzir o valor de contrato de fornecimento de eletricidade.

A figura 30 abaixo mostra as demandas medidas e contratadas ao longo do ano de 2010 onde se pode ter uma noção mais precisa do perfil de demanda da fábrica A:

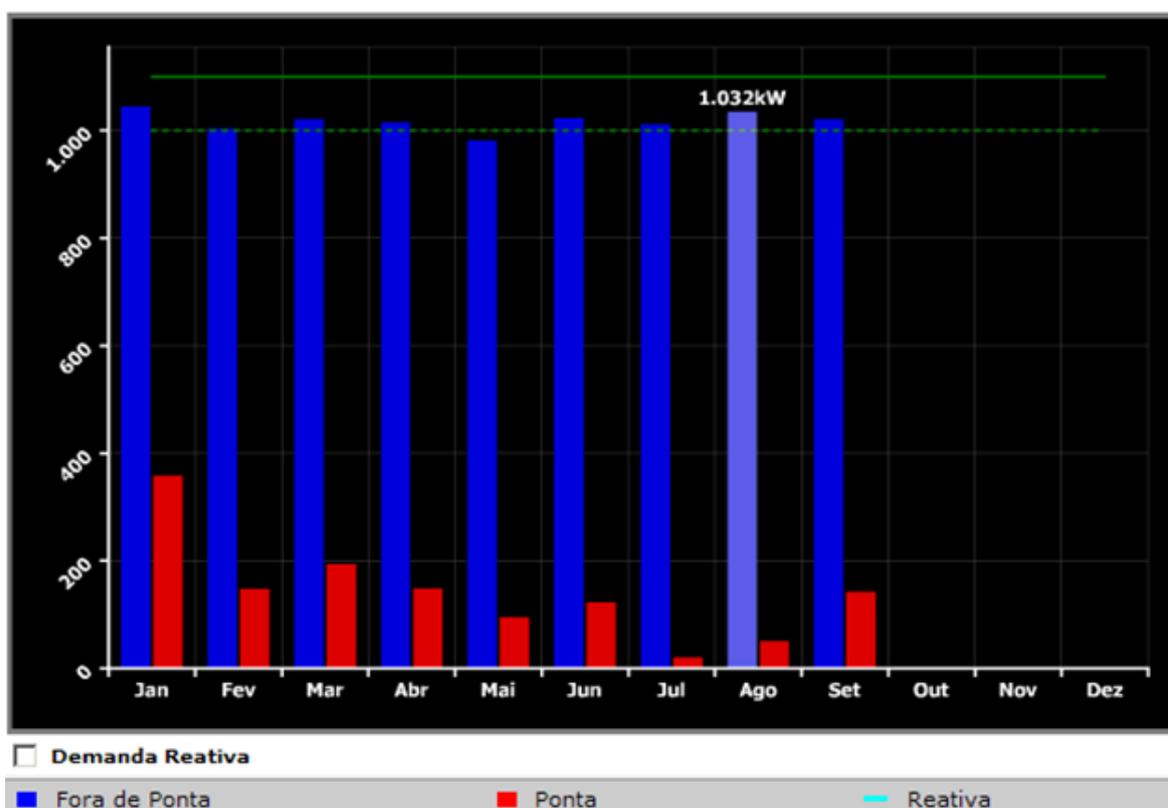


Figura 30 - Demanda mensal registrada na fábrica A (2010). Fonte: www.webenergy.com.br

Pode-se confirmar que em todos os meses a demanda medida está sempre acima da contratada e abaixo da tolerância de 10% demonstrando a adequada demanda contratada junto à concessionária. O gráfico da figura acima mostra que a demanda registrada está adequada ao contrato da instalação, isso por que, em algum intervalo de medição da contratada foi verificado o valor próximo da demanda contratada. Mas esta curva não revela o FC irregular, pois apenas a maior medida de demanda é registrada. A figura 31 mostra as demandas registradas no ano de 2010 na fábrica B:

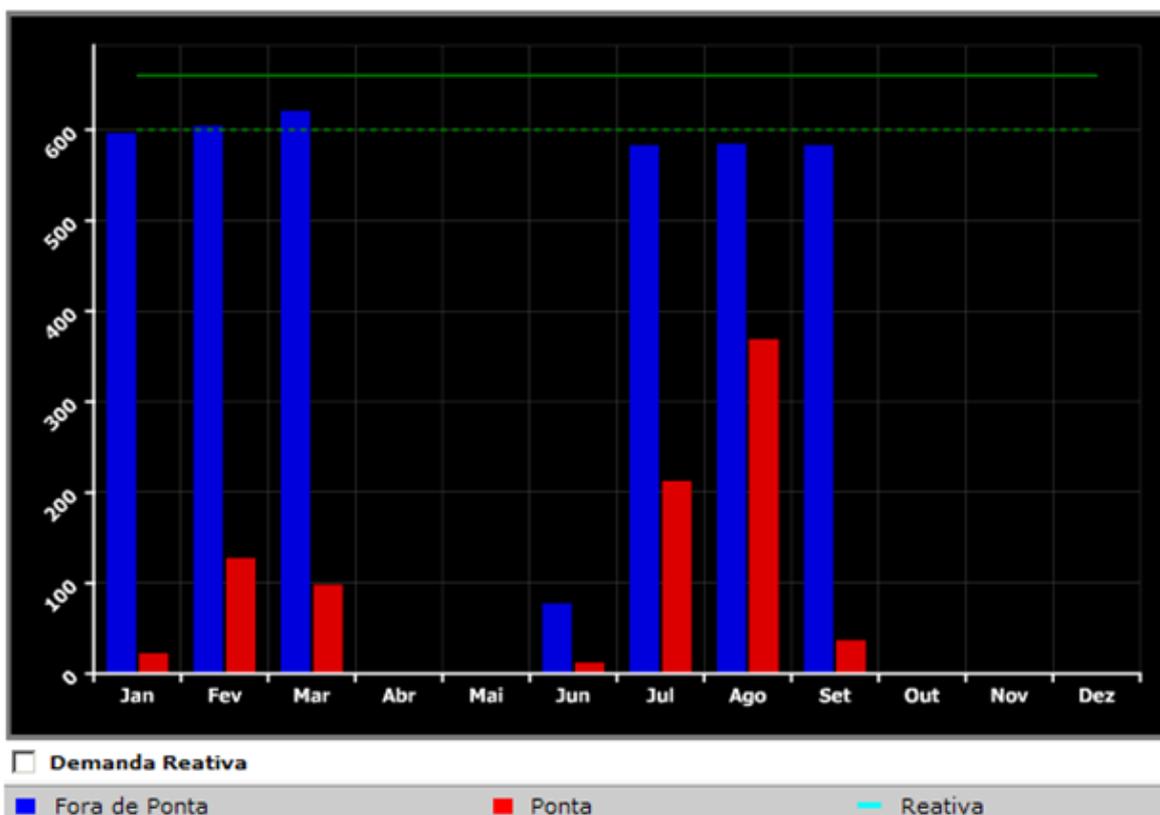


Figura 31 - Demanda mensal registrada na fábrica B (2010). Fonte: www.webenergy.com.br

O gráfico acima mostra que a demanda medida está acima da demanda contratada somente no mês de março, pois nos meses de abril e maio não foi feita a leitura. Assim, fica evidenciado novamente o comportamento de ociosidade de demanda na instalação da fábrica B. O estudo do sistema de tarifação é uma análise que deve ser realizada antes e após todas as medidas de conservação de energia na instalação. Assim, pode-se conseguir o contrato de fornecimento de eletricidade o mais fiel possível do perfil de funcionamento da empresa reduzindo gastos.

A análise da modalidade tarifária mostrou que o sistema horosazonal verde é o mais adequado ao sistema de produção das duas empresas analisadas. O fato da instalação não funcionar no horário de ponta faz com que a modalidade verde seja a mais indicada ao contrato. Se o contrato de fornecimento fosse no sistema tarifário com modalidade horosazonal azul a conta de energia teria um aumento de 19% no total da fatura. Assim, a opção da modalidade no sistema tarifário de fornecimento de energia verde é o mais adequado à linha de produção. No anexo I são mostradas as tarifas vigentes da concessionária Escelsa EDP conforme resolução 1.039 de agosto de 2010.

7.2 Sistema motriz

Para as análises de IC, foi realizada a medição das correntes elétricas de funcionamento dos motores e cálculo da rotação com base nas curvas do fabricante. O resultado das medições se encontra na tabela 9 abaixo:

Tabela 9 - Medidas de corrente elétrica. Fonte: Dados da pesquisa.

Fábrica	A						B					
DESCRIÇÃO	Motor 1			Motor 2			Motor 1			Motor 2		
Corrente medida em cada fase [A]	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
	95	92	91	77	72	72	77	72	72	70	66	68

De posse das informações de corrente elétrica do motor trabalhando com o carregamento de serviço diário e seus dados de placa, determinou-se o IC ou a razão entre a potência real e a potência nominal.

A partir da medição feita em campo, da utilização da planilha de cálculos que convergem os resultados do dimensionamento e da informação na curva de desempenho do motor mostrada no catálogo de especificações do fabricante determinou-se o seu IC. A tabela 10 abaixo mostra os dados das medidas de corrente, o valor da rotação calculada e o IC dos motores conforme métodos de carregamentos descritos:

Tabela 10 - Informações de saída dos motores do sistema de exaustão. Fonte: Fábricas analisadas.

Fábrica	Motor	Rotação [RPM]			Corrente [A]			IC (%)
		n_t	n_N	n_s	I_t	I_N	I_o	
A	Exaustor 1	1778	1765	1800	93	105	37	82
	Exaustor 2	1779	1775	1800	74	102	36	58
B	Exaustor 1	1777	1770	1800	74	101	35	60
	Exaustor 2	1777	1770	1800	68	70,6	27	95

A análise do carregamento finaliza com o gráfico de desempenho do fabricante. A figura abaixo mostra o perfil de funcionamento de um motor de 75 [cv], conforme os motores com IC abaixo de 75% mostrados na tabela anterior:

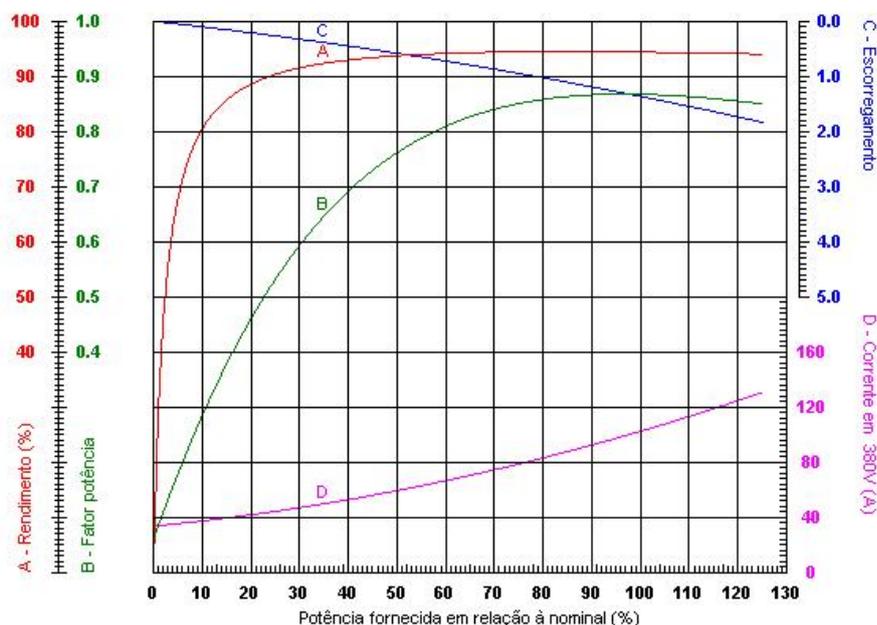


Figura 32 - Curva de desempenho de motor de 75 [cv]. Fonte: WEG.

O gráfico da figura acima é para motores da linha Plus da WEG, pois os motores Standard (em uso nas fábricas) não são fabricados e possuem rendimento 3% inferior. Conforme tabela 10 acima, o motor do exaustor 2 da fábrica A e o motor do exaustor 1 da fábrica B estão com seu IC abaixo de 75%, ou seja, superdimensionados e serão alvos de análises de viabilidade econômica da sua substituição e o potencial de redução de emissão de CO₂ devido a esse consumo desnecessário. Os motores do sistema de exaustão 1 e 2 das fábricas A e B, respectivamente, possuem um IC adequado à carga solicitada. Este resultado, inicialmente satisfatório pode ser mudado com a análise de mais motores das instalações das fábricas.

O gráfico da figura abaixo mostra a curva de desempenho de um motor de 50 [cv]. Esta potência é sugerida no caso dos motores superdimensionados analisados. Pois possuem 60% da potência do motor atual (45 [cv]), no entanto, não existem motores nesta potência, assim, será utilizada a potência de 50 [cv]:

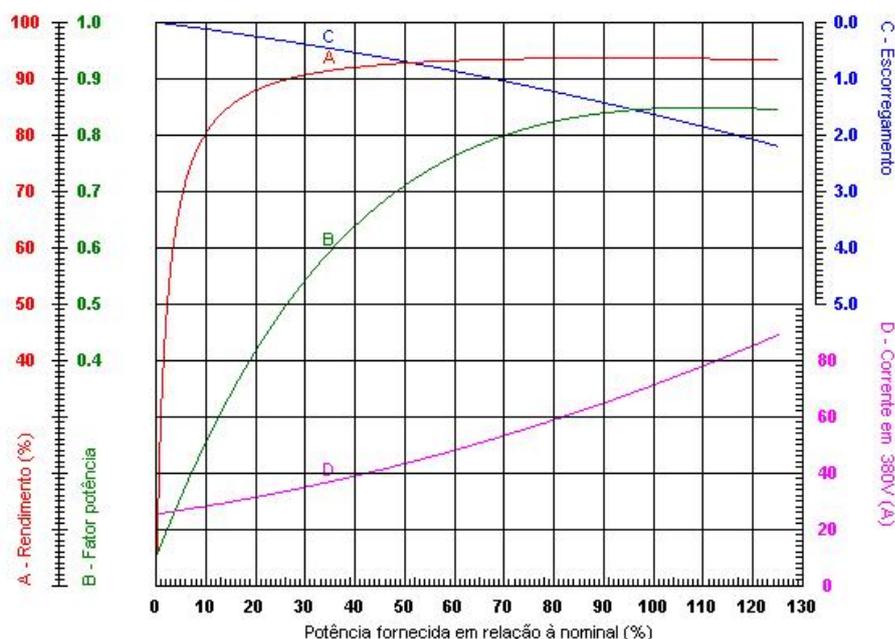


Figura 33 - Curva de desempenho de motor de 50 [cv]. Fonte: WEG.

Após ser feita a análise do carregamento do motor atual, fica evidenciado, a partir do gráfico do fabricante, o nível de rendimento e Fator de potência facilitando a recomendação do novo motor com características de desempenho mais adequada. A tabela 11 mostra os dois motores recomendados para a substituição dos antigos com baixo IC:

Tabela 11 - IC após adequação motriz. Fonte: Resultados da pesquisa.

Fábrica	Motor	Potência [cv]	Corrente [A]	FP	η [%]	IC [%]
A	Exaustor 2	50	62	0,83	92	87
B	Exaustor 1	50	64	0,87	93	90

A partir da análise de uma maior quantidade de motores, com uma fatia maior do consumo da eletricidade nos elementos motrizes, poderá ser verificado excesso de consumo de eletricidade devido ao baixo IC e assim, quantificar a oportunidade de eficiência energética.

O resultado dos cálculos do dimensionamento dos motores utilizando o IC mostra o benefício do uso adequado da força motriz. Os motores do sistema de exaustão compreendem 8% da quantidade de motores instalados e 20% da potência nas instalações das fábricas analisadas do pólo moveleiro de Linhares-ES. A partir do correto dimensionamento dos motores foi levantada a economia de energia durante 1 ano e a redução de emissão de CO₂ devido a esse desperdício de energia

do sistema motriz. A tabela 12 mostra a viabilidade do investimento de compra de novos motores de alto rendimento com a substituição dos motores atuais, de potência adequada à carga acionada:

Tabela 12 - Viabilidade econômica e ambiental da substituição de motores superdimensionados.
Fonte: Resultados da pesquisa.

Fábrica	Motor	Tarifa R\$/kWh	Tempo h/ano	Economia kWh/ano	Economia R\$/ano	Redução na Emissão tCO ₂
A	Exaustor 2	0,135	1920	35280	4.763	0,868
B	Exaustor 1			35280	4.763	0,868
Total				70560	9.526	1,736

As medidas de otimização indicadas na tabela anterior, acarretarão uma economia de 70,5MWh/ano, correspondente a 4% e 6% de consumo atribuído ao sistema de força motriz para a fábrica A e B, respectivamente. Gerando uma economia anual de R\$ 9.526,00 com tempo de retorno de 15 meses e reduzindo a emissão de 1,7 toneladas de CO₂ à atmosfera devido geração de energia com a queima de combustíveis em termoeletricas interligadas no SIN.

A análise da viabilidade econômica da substituição dos motores elétricos existentes tipo standard por motores de alto rendimento. O preço dos equipamentos, conforme software BD Motores da Eletrobrás, é R\$ 4.000,00 e possui 10% de depreciação ao ano e vida útil de 10 anos. Os motores antigos, devido não possuírem histórico de queima de bobinado, podem alcançar o valor residual de R\$ 300,00. A economia de energia a partir da substituição de motores viabiliza a aquisição de um motor de menor potência e adequado à carga.

7.3 Geração de Eletricidade

O cálculo para o ciclo rankine a vapor superaquecido segue abaixo para a caldeira, turbina, condensador e bomba. A partir do cálculo da energia cedida à caldeira pelo combustível e adotando que a caldeira convertesse em potência 30%

do valor do calor transmitido ao fluido pela queima do combustível foi possível especificar a turbina a partir de sua potência onde foi utilizada nesse projeto a turbina do fabricante Siemens Modelo SST-100, com a potência podendo variar de 2,0 MW até 8,5 MW que segundo o fabricante opera até uma pressão de vapor de 65 bar ou 6,5 MPa, e uma temperatura 480 °C, e pressão de vapor de escape de 1 bar ou 0,1 MPa o que deixa com uma folga operacional satisfatória para futuras expansões tendo em vista que o volume de biomassa tende a aumentar com o passar dos anos.

Com as informações da queima de resíduos e geração de eletricidade, são apresentados os resultados das análises energética e econômica, onde será discutida a viabilidade para implantação de um sistema de vapor demonstrando qual o poder energético possível através da queima dos resíduos e o retorno financeiro do ciclo proposto. A tabela 13 demonstra a potência gerada ou consumida por cada elemento do ciclo estudado com sua respectiva eficiência energética.

Tabela 13: Eficiências energéticas dos Equipamentos. Fonte: Resultados da pesquisa.

Equipamentos	Potência	Eficiência energética
Caldeira	10571,26 kW	90%
Turbina	2489,27 kW	76%
Condensador	8109,33 kW	-
Bomba	27,34 kW	88%
Ciclo	2462,56 kW	23%

A partir do ciclo Rankine proposto foi possível obter a quantidade de energia gerada na turbina, para que seja possível realizar o estudo de viabilidade econômica possibilitando calcular custos dos equipamentos e suas instalações e manutenção a partir da capacidade e potência de cada equipamento. Segundo Rossetti (2008) um ciclo a vapor a partir de biomassa sem cogeração, sua eficiência é de 18% a 20%, ou seja, o ciclo estudado está próximo do esperado para sua configuração tendo uma eficiência energética teórica de 23%.

A estimativa dos custos dos equipamentos foi realizada conforme os valores obtidos para cada equipamento do sistema. Para os equipamentos estimados em dólar, foi considerada uma variação cambial de US\$1,00/R\$1,80. Para os

equipamentos a seguir, todos os valores foram atualizados para o ano de 2010 com taxa de 7,3% ao ano, conforme taxa de juros adotada.

Conforme Branco (2005), o custo da caldeira foi estimado em R\$ 1.607.702,08 para uma capacidade 13 ton/h. Utilizando os custos de referência de uma caldeira de 15 ton/h em R\$ 1.361.419,33 e foi utilizado α igual a 0,78. O valor estimado para a turbina é de R\$ 4.145.295,67 considerando valor de referência de R\$ 1.097.796,00 para capacidade de 1,25 MW e α igual 0,9. O modelo de turbina em questão possui um range de potencia até 8,5 MW e para o presente trabalho foi considerado o mesmo modelo customizado com potência nominal de 4 MW considerando futuro aumento na disponibilidade de biomassa.

Para o condensador foi estimado um custo de R\$ 398.336,48, utilizando equipamentos de referências apresentado por Branco (2005), onde US\$ 3.000,00 para cada 10 kW de calor transferido. O fator α utilizado foi de 0,6.

O custo da bomba foi estimado em R\$ 276.817,55, utilizando a equação 24 considerando as referências de Branco (2005) onde a valor é de US\$ 375.000,00 para uma capacidade de 315 kW utilizando α igual a 0,48.

O levantamento dos custos totais de aquisição dos equipamentos e implementação da planta, foram realizados conforme a Tabela 14, excluindo os custos referentes de manutenção e operação o qual foi considerado conforme o Rossetti (2008), resultando em um percentual de 192,05% sobre o custo de aquisição dos equipamentos conforme demonstrado na tabela abaixo.

Tabela 14: Valor do Investimento. Fonte: Branco – 2005.

Equipamentos	Custo do Investimento (R\$)
Caldeira	R\$ 1.612.768,08
Turbina a vapor	R\$ 2.724.584,50
Condensador	R\$ 399.610,03
Bomba	R\$ 277.711,55
Soma	R\$ 5.014.673,75
Total (192,05%)	R\$ 9.630.680,50

A partir dos indicadores adotados para análise econômica foram analisados alguns cenários com valores de preço de venda de energia com o aproveitamento dos resíduos do processo, conforme mostrado na tabela 15 a seguir:

Tabela 15: Indicadores de viabilidade econômica. Fonte: Resultados da pesquisa.

VALOR VENDA (R\$/Mwh)	PAYBACK (anos)
R\$ 85,00	13
R\$ 95,00	11
R\$ 105,00	10
R\$ 115,00	9
R\$ 125,00	8
R\$ 135,00	8

Após análises com alguns valores de venda para energia, observou-se que o investimento torna-se atrativo a partir de 115 R\$/MWh. Quando viável a concessionária oferece ao cliente, uma linha de financiamento cujas parcelas deverão ser menores ou iguais às economias mensais com custos energia e demanda por parte do cliente, como incentivo à prática de eficiência energética em sua produção

Com base do ciclo rankine de vapor superaquecido obteve-se um potencial de geração de eletricidade de 21.300 MWh/ano. Resultando na emissão de 524 tonCO₂/ano. Demonstrando que a utilização de eficiência energética pode contribuir na redução do impacto ambiental proveniente do uso inadequado de energia. Com isso, os projetos de eficiência energética são classificados em atividades de pequena escala em âmbito MDL e conforme o Protocolo de Quioto é possível, mediante aprovação, a venda de créditos de carbono com esta economia de energia. Ainda o calor residual pode ser utilizado em projetos de cogeração para aplicação em sistemas de refrigeração proporcionando também, a segurança no seu fornecimento, evitando as falhas da rede de distribuição.

7.4 Comercialização de energia

Os contratos de compra e venda de energia são celebrados na CCEE. A CCEE contabiliza as diferenças entre o que foi produzido ou consumido e o que foi contratado. As diferenças positivas ou negativas são liquidadas no “Mercado de Curto Prazo” e valoradas ao PLD, determinado semanalmente para cada patamar de carga e para cada submercado, tendo como base o custo marginal de operação do sistema, este limitado por um preço mínimo e máximo.

Para atribuir valor as cotas de energia é utilizado o PLD. O mesmo é formado em curto prazo para a otimização da operação do SIN. Em função da presença de várias hidrelétricas no parque de geração brasileiro, utilizando modelos matemáticos, tem se por objetivo encontrar a solução ótima de equilíbrio entre o presente uso da água e do benefício futuro de seu armazenamento, medido em termos da economia esperada dos combustíveis das usinas termelétricas.

A máxima utilização da energia hidrelétrica disponível em cada período é a premissa mais econômica do ponto de vista imediato, pois minimiza os custos de combustíveis. No entanto, essa premissa resulta em maiores riscos de déficits futuros. Por sua vez, a máxima confiabilidade de fornecimento é obtida conservando o nível dos reservatórios o mais elevado possível, o que significa utilizar mais geração térmica e, portanto, aumento dos custos de operação.

O valor do PLD rege os valores dos pacotes de energia comercializados nos leilões. Dessa forma, a tarifa base da energia elétrica foi assumida como sendo de R\$ 135,00 por MWh, baseado no resultado do último leilão de fontes renováveis da CCEE e a tributação sobre a mesma foi considerada de 45% (CCEE, 2010).

8 CONCLUSÃO

No contexto de eficiência energética, é clara a necessidade de investir em projetos de uso racional da energia elétrica e efficientização das instalações industriais devido a economia gerada, o tempo de retorno de investimento e a redução do impacto ambiental causado pelo consumo desnecessário de eletricidade nos processos de industrialização.

A análise do perfil de consumo das fábricas A e B demonstrou que o sistema de tarifação atual está adequado ao perfil de funcionamento da instalação. Esta análise mostra a economia do lado do consumidor que evita gastos desnecessários com o perfil de ociosidade e ultrapassagem da demanda contratada. Pelo lado da concessionária permite evitar gastos com infra-estrutura necessária como a construção de centrais de geração renovável ou não-renováveis, sistema de transmissão, transformação e distribuição para o fornecimento do mercado consumidor. No entanto, deve-se ter atenção quanto ao desempenho do departamento de PCP e manutenção da instalação quanto à questão da busca da linearização da curva de consumo versus a rotina de produção e manutenção, pois ainda existem flutuações da curva característica de consumo em relação à demanda contratada. A simulação da mudança de sistema tarifário para o contrato horosazonal azul mostrou a elevação de 19% no valor da fatura de energia das empresas.

A metodologia para adequação de força motriz pela substituição de motores elétricos do tipo padrão por motores de alto rendimento, com base no IC mostrou-se eficaz e de fácil manuseio e dá subsídios à tomada de decisão, pela troca ou não dos motores elétricos em funcionamento. Esta metodologia pode subsidiar programas de gerenciamento do lado da demanda para a racionalização do uso de força motriz.

A análise do carregamento de motores de indução no setor de exaustão mostrou que os motores com IC adequados realizam o mesmo trabalho dos motores em funcionamento, demandando menor potência e gastos com energia elétrica. A

economia com eletricidade pela adequação dos motores analisados mostrou que 70,5 MWh equivalente à R\$ 9.526 podem ser evitados no período de 1 ano resultando assim, na redução de 1,7 toneladas de CO₂ emitidas em centrais de geração para o mesmo período. Sendo que a vida útil dos motores seja em torno de 10 anos e o retorno do investimento se faz em 15 meses. Ainda, a sobre dimensionamento de motores requerem do sistema de distribuição e proteção maior capacidade de condução e segurança tornando a instalação mais custosa e que não foi contabilizada neste estudo.

Através da avaliação das características termodinâmicas do resíduo de madeira do processo de fabricação de móveis, pode-se comprovar que a sua utilização como combustível possui potencial para queima e posterior geração de eletricidade. A quantidade e o aproveitamento dos resíduos do processo para a geração de eletricidade a partir de um ciclo Rankine é uma solução técnica e econômica para a destinação e aproveitamento da madeira. Os estudos mostraram o potencial de geração de 21,3 GWh e venda de créditos de carbono, conforme políticas de MDL, para um total de 524 toneladas de CO₂ evitadas no mesmo período. A viabilidade do projeto mostrou que o investimento se paga em 8 anos para uma vida útil da central de geração de 20 anos.

A adequação do sistema motriz e a geração de eletricidade são opções economicamente viáveis devido suas vidas úteis serem maior do que o tempo de retorno dos investimentos.

A redução de emissão de CO₂ na geração de energia em termoelétricas devido aos desperdícios de eletricidade em motores por motivo de um mau dimensionamento e a autoprodução a partir do aproveitamento de resíduos são características sustentáveis das medidas de eficiência energética.

Toda mudança do sistema e do processo deve ser criteriosamente analisada, principalmente do ponto de vista da segurança, confiabilidade e continuidade da operação. É perfeitamente possível a existência associativa dos conceitos de eficiência energética, ganhos financeiros, aumento de segurança e confiabilidade e continuidade do processo, desde que feitos de forma criteriosa e competente

9 RECOMENDAÇÕES

São recomendações de estudos futuros a criação de um programa de manutenção preventiva que busque reduzir o desperdício com sobreaquecimento em contatos, emendas e painéis de alimentação, o vazamento de ar nas tubulações de exaustão, o acúmulo de condensado nas linhas de ar comprimido e paradas não programadas.

Fazer o estudo de financiamento deste trabalho junto às linhas de crédito específicas para projetos de eficiência energética nos bancos.

Fazer um estudo da representatividade da redução do impacto ambiental e da economia gerada em todo o pólo moveleiro de Linhares-ES com as medidas de eficiência energética propostas neste estudo.

Fazer um estudo da redução dos diversos impactos ambientais causados pelo aumento da eficiência energética nas fábricas analisadas.

Ainda, estudar o processo da destilação da borra da tinta do processo de pintura para a produção de solventes a serem utilizados como produtos de limpeza nas máquinas do processo da fábrica.

Por fim, fazer um estudo do potencial de economia financeira para a empresa com a venda de créditos de carbono no mercado internacional conforme medidas de mitigação de efeito estufa do protocolo de Quioto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambiente Já. **Emissões de gases do efeito estufa**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br>. Acesso em 31 Out. 2011.

Aaker, D. A. & Day, G. S. **Marketing Research**. 3ª edição, John Wiley, U.S.A. 1982.

ABIM – **Associação Brasileira da Indústria Moveleira**. Disponível em: www.abimovel.com.br. Acesso em 15 nov. 2010.

ALVES, M. Luis. **Biomassa e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Unicamp, São Paulo, 2008.

BEN – **Balanco Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em 10 jul. 2010.

Berneck, Graça. Rino, Guilherme. **IV Congresso Internacional de Produtos de Madeira Sólida de Florestas Plantadas**. Paraná, 2008.

Branco, P. Fabiano. **Análise termoeconômica de uma usina termoeletrica a gás natural operando em ciclo aberto e combinado**. UNESP, São Paulo, 2005.

Brasil. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília-DF, 2010.

Carlos A. Teixeira et al. **Metodologia para racionalização do uso de energia elétrica para obtenção de força motriz em fábrica de ração**. UFV, Viçosa-MG, 2004.

CONFEA. **Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia**. Brasília, 1999.

Energy Efficiency News. **Pequenas empresas poderiam economizar mais de 7 bilhões de libras com eficiência energética.** Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br>. Acesso em 03 Nov. 2011.

Franco, G. Fernando. **Eficiência Energética e Uso Racional de Energia.** Goiânia-GO, 2004.

Folego, Tais. Disponível em: <http://www.portosenavios.com.br/site>. Acesso em 27 set. 2011.

Gabrielli, S. José. Agência Petrobrás. Disponível em: <http://www.portosenavios.com.br/site/noticiario>. Acesso em 28 set. 2011.

Gay, L. R. & Diehl, P. L. **Research methods for business and management.** New York. MacMillan, 1992.

Guardia, C. Eduardo. Bortoni, C. Edson. **Eficiência Energética: Teoria & Prática.** UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá. Ed. Fupai, Itajubá-MG, 2007.

Guidolini, P. Ícaro. Souza, C. Robson. **Sistema de cogeração a partir de resíduo para indústria moveleira.** Facha, Aracruz-ES, 2006.

Haddad, Jamil. Horta, J. Fábio, et al. **Conservação de energia. Eficiência energética de equipamentos e instalações.** Ed. Fupai, Itajubá-MG, 2006.

INEE – **Instituto Nacional de Eficiência Energética.** Disponível em: www.inee.org.br. Acesso em 20 set. 2010.

Latorre, C. F. Nobre. **Diagnóstico do potencial de conservação de energia na indústria. Seminário Internacional de Distribuição de Energia Elétrica.** CEMIG. Belo Horizonte-MG, 1990.

Masili, G. S. et. al. **Mecanismos de Leilão e Formação de preço da energia no Brasil.** FEM/Unicamp, São Paulo, 2003.

Menkes, M. **Eficiência Energética, Políticas Públicas e Sustentabilidade.** Brasília-DF, 2004.

MCT – **Ministério de Ciência e Tecnologia**. Disponível em: www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html. Acesso em 10 mar. 2011.

MME – **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme>. Acesso em 25 mai. 2011.

Naveiro, R. Manfredi. COPPE/UFRJ. **Painel Florestal**. Disponível em: www.remade.com.br. Acesso em 25 ago. 2010.

Nogueira, L. A. Horta. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Ed. Interciência, 2ª edição. Rio de Janeiro, 2003.

Petry, M. Bibiana. Moreira, R. Diego. **CLADE 2008 – Congresso Latino Americano de Distribuição de Eletricidade**. Redução da Emissão de Gases Estufa através de Projetos de Eficiência Energética em Sistemas de Irrigação em Lavouras Orizícolas. PUCRS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008.

Procel – **Programa de conservação de energia elétrica**. Disponível em: <http://www.eletrobras.gov.br/elb/procel>. Acesso em 06 jul. 2011

Reinaldo, J. P. Dutra. **Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no pólo moveleiro de Arapongas-PR**. UFPR, Paraná, 2007.

Revista científica de engenharia florestal. **Resíduo da indústria madeireira: Caracterização, conseqüências sobre o meio ambiente e opções de uso**. São Paulo, 2005.

Rossetti, J. Paschoal et al. **Finanças corporativas. Teoria e prática empresarial no Brasil**. Elsevier, Rio de Janeiro, 2008.

Sasson, M. Jean. **Eficiência energética e meio ambiente**. Disponível em: www.ambienteenergia.com.br. Acesso em 08 ago. 2011.

Shapiro, N. Howard. Moran, J. Michael. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 4ª Edição. Ed. LTC. Rio de Janeiro, 2002.

Sindimol – Sindicato Moveleiro de Linhares. Disponível em: www.sindimol.com.br. Acesso em 15 out. 2010.

WEG Motores. **Eficiência em motores de indução**. Disponível em: www.weg.com.br, Acesso em 12 abr. 2010.

WWF – **World Wildlife Fund**. Disponível em: www.wwf.org.br/index.cfm. Acesso em 19 de mar. 2011.

Webenergy. Software on line de gerenciamento. Disponível em: www.webenergy.com.br. Acessado em 10 Abr. 2010.

Yin, Robert K. **Case study research. Design and methods**. Sage. U.S.A 1990.

ANEXOS

ANEXO A – Tarifa de consumo de energia (R\$/kWh) e demanda de potência (R\$/kW) vigente a partir de agosto de 2010 conforme resolução 1.039 da Aneel para a concessionária de eletricidade do estado do Espírito Santo – Escelsa EDP:

Tarifa horo-sazonal Verde					
Demanda [R\$/kW]	Consumo [R\$/kWh]				Ultrapassagem
	Úmido		Seco		
	P	FP	P	FP	
12,74	1,287	0,144	1,311	0,158	38,22

Tarifa horo-sazonal Azul							
Demanda [R\$/kW]		Consumo [R\$/kWh]				Ultrapassagem [R\$/kW]	
		Úmido		Seco			
P	FP	P	FP	P	FP	P	FP
45,62	12,74	0,228	0,144	0,251	0,158	136,86	38,22

ANEXO B – Fluxo de caixa para investimento em motores de indução para tarifa de 135 R\$/MWh.

R\$	Mês 0	Mês 1	Mês 2	Mês 3
Compra motor novo	-4000			
Venda motor antigo	300			
Economia com consumo de eletricidade		396,9	396,9	396,9
Manutenção e Operação	-200	-100	-100	-100
Depreciação mensal		-33,3	-33,3	-33,3
Custos totais mensal		-133,3	-133,3	-133,3
Receita líquida mensal	-3900	263,6	263,6	263,6
Receita do investimento Acumulado	-3900	-3636,4	-3372,9	-3109,3

R\$	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7
Compra motor novo				
Venda motor antigo				
Economia com consumo de eletricidade	396,9	396,9	396,9	396,9
Manutenção e Operação	-100	-100	-100	-100
Depreciação mensal	-33,3	-33,3	-33,3	-33,3
Custos totais mensal	-133,3	-133,3	-133,3	-133,3
Receita líquida mensal	263,6	263,6	263,6	263,6
Receita do investimento Acumulado	-2845,7	-2582,2	-2318,6	-2055,0

R\$	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11
Compra motor novo				
Venda motor antigo				
Economia com consumo de eletricidade	396,9	396,9	396,9	396,9
Manutenção e Operação	-100	-100	-100	-100
Depreciação mensal	-33,3	-33,3	-33,3	-33,3
Custos totais mensal	-133,3	-133,3	-133,3	-133,3
Receita líquida mensal	263,6	263,6	263,6	263,6
Receita do investimento Acumulado	-1791,5	-1527,9	-1264,3	-1000,8

Continua

Continuação

R\$	Mês 12	Mês 13	Mês 14	Mês 15
Compra motor novo				
Venda motor antigo				
Economia com consumo de eletricidade	396,9	448,497	448,497	448,497
Manutenção e Operação	-100	-110	-110	-110
Depreciação mensal	-33,3	-33,3	-33,3	-33,3
Custos totais mensal	-133,3	-143,3	-143,3	-143,3
Receita líquida mensal	263,6	305,2	305,2	305,2
Receita do investimento Acumulado	-737,2	-432,0	-126,9	178,3

R\$	Mês 16	Mês 17	Mês 18	Mês 19
Compra motor novo				
Venda motor antigo				
Economia com consumo de eletricidade	448,497	448,497	448,497	448,497
Manutenção e Operação	-110	-110	-110	-110
Depreciação mensal	-33,3	-33,3	-33,3	-33,3
Custos totais mensal	-143,3	-143,3	-143,3	-143,3
Receita líquida mensal	305,2	305,2	305,2	305,2
Receita do investimento Acumulado	483,5	788,6	1093,8	1398,9

Conclusão

ANEXO C – Fluxo de caixa para investimento em central termoeletrica para tarifa de 135 R\$/MWh

R\$	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3
Investimento	-9.630.680,9			
Custo com Transp. Combust.	3,3	-178.647,23	-191.688,48	-205.681,74
Custo com operação		-529.100,00	-560.846,00	-594.496,76
Custo manutenção		-107.614,90	-115.470,79	-123.900,15
Impostos Base (45%)		-1.288.418,87	-1.455.913,33	-1.645.182,06
Venda de energia elétrica		2.863.153,05	3.235.362,95	3.655.960,14
Receita líquida	-9.630.680,9	759.372,05	911.444,36	1.086.699,42
Custos totais		-2.103.781,01	-2.323.918,60	-2.569.260,71
Acumulado		-8.871.308,88	-7.959.864,53	-6.873.165,11

R\$	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
Investimento				
Custo com Transp. Combust.	-220.696,51	-236.807,35	-254.094,29	-272.643,17
Custo com operação	-630.166,57	-667.976,56	-708.055,15	-750.538,46
Custo manutenção	-132.944,86	-142.649,84	-382.658,20	-410.592,24
Impostos Base (45%)	-1.859.055,73	-2.100.732,97	-2.373.828,26	-2.682.425,93
Venda de energia elétrica	4.131.234,95	4.668.295,50	5.275.173,91	5.960.946,52
Receita líquida	1.288.371,29	1.520.128,77	1.556.538,01	1.844.746,71
Custos totais	-2.842.863,67	-3.148.166,73	-3.718.635,90	-4.116.199,81
Acumulado	-5.584.793,82	-4.064.665,05	-2.508.127,04	-663.380,33

R\$	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11
Investimento				
Custo com Transp. Combust.	-292.546,12	-313.901,99	-336.816,84	-361.404,47
Custo com operação	-795.570,77	-843.305,02	-893.903,32	-947.537,52
Custo manutenção	-440.565,48	-472.726,76	-507.235,81	-544.264,03
Impostos Base (45%)	-3.031.141,31	-3.425.189,68	-3.870.464,33	-4.373.624,70
Venda de energia elétrica	6.735.869,57	7.611.532,61	8.601.031,85	9.719.165,99
Receita líquida	2.176.045,89	2.556.409,17	2.992.611,55	3.492.335,29
Custos totais	-4.559.823,68	-5.055.123,44	-5.608.420,30	-6.226.830,70
Acumulado	1.512.665,56	4.069.074,73	7.061.686,28	10.554.021,57

Continua

Continuação

R\$	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
Investimento				
Custo com Transp. Combust.	-387.786,99	-416.095,44	-446.470,41	-479.062,75
Custo com operação	-1.004.389,77	-1.064.653,15	-1.128.532,34	-1.196.244,28
Custo manutenção	-583.995,30	-626.626,96	-672.370,72	-721.453,79
Impostos Base (45%)	-4.942.195,91	-5.584.681,37	-6.310.689,95	-7.131.079,65
Venda de energia elétrica	10.982.657,57	12.410.403,05	14.023.755,45	15.846.843,66
Receita líquida	4.064.289,61	4.718.346,13	5.465.692,02	6.319.003,19
Custos totais	-6.918.367,96	-7.692.056,93	-8.558.063,43	-9.527.840,47
Acumulado	14.618.311,18	19.336.657,31	24.802.349,33	31.121.352,52

Conclusão