

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENERGIA**

**INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
ESCOLA POLITÉCNICA
FACULDADE DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO
INSTITUTO DE FÍSICA**

**ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM
DUAS INDUSTRIAS DE PROCESSAMENTO DE CANA DA
REGIÃO NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO**

EDUARDO PINTO CONCEIÇÃO

São Paulo, 1999

INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA USP
BIBLIOTECA Prof. Fonseca Telles
Nº 114a



Eduardo Pinto Conceição

ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM DUAS
INDÚSTRIAS DE PROCESSAMENTO DE CANA DA REGIÃO NORTE DO
ESTADO DE SÃO PAULO

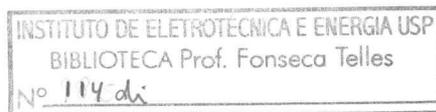
Dissertação apresentada ao Programa
Interunidades de Pós-Graduação em Energia da
Universidade de São Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Energia.

Área de Concentração: Fontes Renováveis de
Energia

Orientador:

Prof. Dr. Murilo Tadeu W. Fagá

São Paulo
1999



**Para minha família,
Dedico.**

AGRADECIMENTOS

- ao Instituto de Eletrotécnica e Energia, pela oportunidade;
- às indústrias que gentilmente cederam os dados para elaboração do presente trabalho;
- ao Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá, que em um momento difícil de minha vida acadêmica, aceitou o encargo de minha orientação;
- aos Professores Doutores Everaldo Pinto Conceição e Cláudio Benedito Alves, do Departamento de Planejamento da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, campus de Presidente Prudente, pela inestimável ajuda prestada;
- ao Prof. Dr. Célio Bermann, do IEE-USP, por despertar a consciência de seus alunos aos sérios problemas ambientais causados pelo uso e produção da energia;
- ao Prof. Dr. Paulo Roberto Curi, do Serviço de Estatística e Computação da Faculdade de Medicina de Botucatu - UNESP, grande amigo e a quem devo muito de minha vida profissional;
- ao Prof. Dr. Frederico Ozanan Papa, ex-diretor da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu - UNESP, pela autorização inicial para ingresso no Curso de Pós-Graduação;
- aos alunos do PIPGE-USP, com os quais dividi horas de imensa satisfação e alegria;
- aos demais professores e funcionários do IEE-USP, pela atenção que sempre dedicaram aos alunos do PIPGE.

Sumário

Lista de Figuras	
Lista de Quadros	
1. Introdução	1
2. Revisão da Literatura	5
3. Material e Métodos	40
4. Resultados	50
5. Análise e Discussão	51
6. Considerações Finais	81
Anexo A – Dados coletados junto às Indústrias em estudo	99
Anexo B – Resultado do ajuste Logarítmico para os dados das Usinas A e B	107
Referências Bibliográficas	112

Lista de Quadros

Quadro 1 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a Safra de 1990	99
Quadro 2 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a Safra de 1991	99
Quadro 3 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a Safra de 1992	100
Quadro 4 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a Safra de 1993	100
Quadro 5 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a Safra de 1994	101
Quadro 6 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a Safra de 1995	101
Quadro 7 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a Safra de 1996	102
Quadro 8 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a Safra de 1990	102
Quadro 9 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a Safra de 1991	103
Quadro 10 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a Safra de 1992	103
Quadro 11 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a Safra de 1993	104
Quadro 12 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a Safra de 1994	104
Quadro 13 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a Safra de 1995	105
Quadro 14 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a Safra de 1996	105
Quadro 15 – Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a Safra de 1997	106

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Geração de energia a partir da utilização de bagaço de cana. “Sistema de Conversão e Cogeração”	32
Figura 2.2 – Fatores que influenciam o incremento de potência em usina de açúcar e álcool	34
Figura 2.3 – Capacidade de geração por tonelada de cana em alguns estados dos EUA, comparados com os das usinas em estudo	36
Figura 3.1 – Localização das usinas estudadas na região norte do Estado de São Paulo	40
Figura 5.1 – Evolução da tonelagem de cana moída pela Usina A no período 1990-1996	52
Figura 5.2 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Cana Moída pela Usina A no período 1990-1996	53
Figura 5.3 – Evolução da Energia Total produzida pela Usina A no período 1990-1996	54
Figura 5.4 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Energia Total produzida pela Usina A no período 1990-1996	55
Figura 5.5 – Confronto entre Energia Total produzida e tonelagem de cana moída pela Usina A no período 1990-1996	56
Figura 5.6 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Energia Excedente Vendida pela Usina A no período 1990-1996	57
Figura 5.7 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Energia Consumida pela Usina A no período 1990-1996	58
Figura 5.8 – Comportamento da Potência Média Gerada pela Usina A no período 1990-1996	60
Figura 5.9 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Energia Adquirida pela Usina A no período 1990-1996	60
Figura 5.10 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Potência Média Gerada pela Usina A no período 1990-1996	62
Figura 5.11 – Consumo Específico da Usina A no período 1990-1996	63
Figura 5.12 – Evolução da tonelagem de cana moída pela Usina B no período 1990-1997	64
Figura 5.13 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Cana Moída pela Usina B no período 1990-1997	66
Figura 5.14 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Produção de Bagaço pela Usina B no período 1990-1997	67
Figura 5.15 – Evolução da Energia Total produzida pela Usina B no período 1990-1997	67
Figura 5.16 – Confronto entre Energia Total produzida e tonelagem	70

de cana moída pela Usina B no período 1990-1997	
Figura 5.17 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Energia Total produzida pela Usina B no período 1990-1997	71
Figura 5.18 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Energia Excedente Vendida pela Usina B no período 1990-1997	72
Figura 5.19 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Energia Consumida pela Usina B no período 1990-1997	73
Figura 5.20 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Energia Adquirida pela Usina B no período 1990-1997	74
Figura 5.21 – Comportamento da Potência Média Gerada pela Usina B no período 1990-1997	75
Figura 5.22 – Comportamento da Média, Mediana e Desvio-padrão da variável Potência Média Gerada pela Usina B no período 1990-1997	77
Figura 5.23 – Consumo Específico da Usina B no período 1990-1997	79
Figura 6.1 – Curva de teórica de produção de vapor em função da quantidade de combustível na caldeira	85
Figura 6.2 – Ajuste de função Logarítmica para os dados de produção de energia – Usina A	86
Figura 6.3 – Ajuste de função Logarítmica para os dados de produção de energia – Usina B	88
Figura 6.4 – Curva de produtividade marginal da produção de energia elétrica da Usina A	93
Figura 6.5 – Curva de produtividade marginal da produção de energia elétrica da Usina B	94
Figura 6.6 – Receita com a venda de Bagaço “in natura” x Receita com a venda de energia elétrica, para Usina A	96
Figura 6.7 – Receita com a venda de Bagaço “in natura” x Receita com a venda de energia elétrica, para Usina B	97

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido tendo por objetivo estudar e verificar o comportamento da produção de energia elétrica por sistemas de cogeração em duas indústrias de processamento de cana-de-açúcar.

As indústrias objeto do estudo situam-se ambas na região Norte do Estado de São Paulo, onde foram coletados dados de cana moída, energia adquirida da concessionária, energia autogerada, potência média gerada, consumo específico e produção de bagaço referentes ao período 1990-1997.

Com as séries de variáveis, foram elaboradas tabelas resumidas das médias, medianas e desvio-padrão mensais, com objetivo de se avaliar o comportamento dessas variáveis ao longo das safras, bem como se observar as tendências delineadas pelos dados.

O ajustamento de regressão permitiu inferir o grau de aderência dos dados coletados a modelos matemáticos, e a partir destes, verificar o desempenho das duas indústrias em termos de produtividade e viabilidade de produção de energia elétrica excedente.

Os resultados obtidos mostram que das duas usinas estudadas, a Usina A praticamente manteve estável os níveis de produção durante todo período de estudo, enquanto a Usina B apresentou um crescimento na produção industrial da ordem de 45% entre as safras inicial e final do estudo.

SUMMARY

The present work was developed in order to study and verify the behavior of the production of electric energy by the cogeneration systems in two sugar-cane processing plants.

The target industries for the study are located in the North area of the São Paulo State, Brazil, where data of crushing cane, acquired energy of the concessionary, autogenerated energy, generated medium potency, specific consummate and bagace production referred to the period from 1990 to 1997 when they were collected.

With the series of variables, summarized tables of the averages were elaborated, medium and monthly deviation-pattern, with the objective of evaluating the behavior of those variates along with the crops, as well as observed the tendencies delineated by the data.

The regression adjustment has allowed to infer the degree of adherence of the data collected to mathematical models, hence to verify the acting of the two industries in productivity terms and viability of production of electric energy by cogeneration systems.

The obtained results show that of the two studied mills, the A mill practically maintained stable levels of production during whole study period, while B mill presented a growth in the industrial production in the order of 45% among the crops from initial to the final period of the study.

1. INTRODUÇÃO

A forte demanda por energia aliada à intensa pressão do movimento ambientalista por tecnologias mais limpas, tem se evidenciado como as principais preocupações das nações desenvolvidas e subdesenvolvidas neste final de milênio.

Historicamente o consumo de derivados de petróleo e energia elétrica cresce a uma taxa de 5% ao ano, mesmo com campanhas educativas maciçamente veiculadas na Europa e nos Estados Unidos, que são os maiores consumidores, induzindo à redução e conservação desse insumo extremamente importante.

Planos de racionamento e contenção já são levados a efeito em alguns países, a exemplo: Cuba, reflexo do boicote americano; países do leste europeu, pela indisponibilidade de geração suplementar e; Austrália pela implantação de programas que dispensam a energia nuclear, resultado da alta pressão exercida por setores ligados ao meio ambiente.

Na América Latina, inserida no processo de globalização, a formação de blocos econômicos com o intuito de promover o amplo Comércio Internacional, também têm incrementado o consumo de energia por parte dos países consorciados, face a necessidade cada vez maior de exportar produtos para prover o equilíbrio de suas Balanças Comerciais.

Mesmo em situações de crise econômica como agora se revela, a retração de consumos de energia, ora por parte dos empresários como fator de diminuição de custos, ora pelo governo como fator de diminuição do gasto público, não impediu um crescimento do consumo domiciliar, tendência evidente da melhora do conforto e da qualidade de vida.

No Brasil o problema se apresenta na mesma dimensão e direção. Os programas de energia nuclear resultantes do convênio com a Alemanha nos anos 70, em nenhum momento se mostraram viáveis, visto que os projetos Angra I e Angra II são reconhecidamente considerados grandes fracassos econômicos.

O aumento na oferta de gás natural em nossa matriz energética com a construção do gasoduto Bolívia – Brasil e os demais projetos para utilização desse insumo, se apresentam como os de maior viabilidade. Logo após a conclusão desse projeto, a indústria dos Estados beneficiados disporá de mais uma alternativa energética e Usinas Termoelétricas a gás instaladas ao longo da trajetória do gasoduto, fornecerão incremento de energia elétrica ao sistema nacional interligado, em espaço de tempo relativamente curto.

O término da construção da barragem de Porto Primavera, marcou para o setor elétrico do Estado de São Paulo, o fim dos grandes aproveitamentos hidráulicos, produzindo cerca de 1.800 MW, quando todas as máquinas da geradora estiverem operando com sua capacidade total.

O setor sucroalcooleiro é um segmento agroindustrial que engloba as unidades de produção de açúcar e álcool (com destilarias anexas) e aquelas que produzem apenas álcool (destilarias autônomas), a partir da cana-de-açúcar.

Em 1989, o então Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), estabeleceu um convênio com algumas usinas sucroalcooleiras do Estado de São Paulo com a finalidade de incentivar a produção de energia elétrica, em sistemas de cogeração, para ligação em paralelo com a rede de distribuição das concessionárias.

O principal objetivo desse interesse por parte do governo, foi vislumbrar a possibilidade de adicionar razoável potência aos sistemas de distribuição já existentes, através da implantação de geradoras independentes que não se utilizassem de petróleo como combustível.

A ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica), define o VN (Valor Normativo) como sendo um valor , baseado nos preços de compra de energia elétrica de curto prazo, realizadas no âmbito do MAE (Mercado Aberto de Energia), no período de referência, expresso em R\$/ MWh.

As indústrias de processamento de cana são consideradas consumidores sazonais de carga elevada, portanto consumidores que devem aderir a um plano de racionalização gerando, sempre que possível, sua própria energia.

A quantidade utilizada de vapor no processo de cocção na fabricação do açúcar, é muito menor que aquela gerada pelas modernas caldeiras, proporcionando uma sobra considerável para utilização no sistema de cogeração.

Um dos principais problemas dessa modalidade de geração é o preço de venda estabelecido pela ANEEL, cujo Valor Normativo atual foi fixado em R\$ 80,80/MWh , abaixo do considerado justo, segundo os administradores das empresas estudadas. Mesmo assim, a geração de excedentes por algumas usinas

pode ser considerado razoável, e em alguns casos, fundamental na manutenção e regularidade no fornecimento de energia elétrica.

No presente trabalho estudou-se o desenvolvimento dessa forma de geração em duas usinas da Região de Ribeirão Preto (SP), aqui identificadas como Usina A e Usina B, considerando-se, nos sistemas de cogeração instalados nas indústrias, suas condições atuais e as possibilidades de comercialização de energia elétrica excedente, sem alterações significativas na planta industrial.

Para tal, foram coletados os dados mensais para as variáveis Cana moída, Energia total produzida, Energia consumida na usina, Potência média gerada, Energia adquirida e Consumo específico em um horizonte de setes safras para a Usina A e oito safras para a Usina B.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura no presente trabalho se compõe de três partes a seguir elencadas.

Na primeira parte foi feita uma coletânea de trabalhos envolvendo o processo de cogeração em diferentes tipos de plantas industriais. Na segunda parte foram relacionadas pesquisas relativas a produção e utilização do bagaço da cana como combustível.

Na parte final foram verificados e analisados trabalhos referentes a cogeração em indústrias de processamento de cana (Usinas e Destilarias) .

2.1. O processo de cogeração em alguns tipos de indústrias

2.1.1. O processo de cogeração na Indústria da Madeira e em outras atividades industriais

A produção simultânea de energia térmica, mecânica (cogeração) e elétrica não começou necessariamente nas indústrias de processamento de cana. Seus primórdios remontam a utilização de resíduos de madeira (cogeração com rejeitos de processo), pelos ingleses nas colônias da África e da Ásia, onde fontes convencionais de energia não podiam ser exploradas e os interesses da Inglaterra

na produção e comercialização da madeira de suas colônias, exigia um processamento primário a nível local, com a desdobra e aparagem de toras.

Com poder calorífico elevado, os resíduos da madeira eram utilizados em máquinas a vapor derivadas das locomotivas ferroviárias, com caldeiras adaptadas às serrarias. Entretanto, a necessidade da produção de energia térmica não só era necessária nas colônias, como forma de transformação em energia mecânica, mas também nos países, notadamente da Europa, que durante o inverno a utilizavam na calefação.

De acordo com BENTE (1984), a tendência das indústrias de processamento de madeira, para se tornarem em próximas de 80% auto-suficientes em termos energéticos, é se utilizarem dos resíduos com eficiência, adotando processos de secagem com o intuito de melhorar o poder calorífico. O autor também propõe um sistema integrado de aproveitamento de resíduos do tipo lodo de esgoto e biomassa, a ser utilizado prioritariamente nos países em desenvolvimento.

LIMAYE (1984) indica processos de cogeração que devem utilizar resíduos de madeira, resíduos sólidos urbanos e plantas energéticas, como a melhor forma de aproveitamento de biomassa. Acredita o autor que o crescente déficit de energia elétrica será o principal motivo para o incentivo da sua implementação, preconizando a necessidade de se aperfeiçoar a conservação térmica para uma utilização racional da biomassa disponível.

Os autores BROCK, PATTERSON & RUAN (1987) em estudo também referente aos processos de cogeração em indústrias madeireiras, indicam que

essas indústrias se constituem em eficientes fornecedores de energia elétrica. O estudo desses autores foi levado a efeito no Estado da Virgínia (EUA), tendo sido verificadas perdas significativas, em termos energéticos, nos procedimentos operacionais das indústrias que não se utilizavam de processos de cogeração.

GOLOBIC, SHERVILL & IVEY (1989) estudaram o processo de cogeração em indústrias de processamento de madeira no Canadá, observando esse processo como uma forma de redução de custos. O sistema compreende geração de energia térmica (calor para secagem) e energia elétrica. Parte dessa energia produzida foi utilizada para o abastecimento de cidades próximas das indústrias.

Em sistemas parecidos aos já relatados, WEST & ILLS (1990) examinaram os processos de cogeração nos estados de Idaho, Washington e Óregon (EUA), em indústrias de processamento de madeira, utilizando-se dos resíduos para alimentação de fornalhas.

Concluem os autores que o aproveitamento da biomassa é viável, recomendando esse tipo de iniciativa aos produtores de forma geral, observando também que a cogeração se constitui em uma forma barata de geração de energia elétrica, além de se apresentar como uma fonte alternativa para regiões mais distantes dos centros de geração de energia elétrica.

ASANO (1992) adaptou um modelo matemático apresentando estudo complexo sobre cogeração para alimentar sistemas elétricos de hospitais, hotéis e indústrias de processamento de madeira.

2.1.2. O processo de cogeração na agricultura e pecuária

CROCK (1985) construiu um modelo integrado de aproveitamento de resíduos agrícolas com a finalidade de geração de energia. As pesquisas realizadas pelo autor nos Estados Unidos e na Grã-Bretanha, indicam que a geração de eletricidade através de processos de cogeração utilizando biogás, representa uma forma não muito dispendiosa de produção dessa energia. Os custos marginais de incremento de energia são relativamente baixos, quando comparados aos custos de geração adotados pelas concessionárias.

Resíduos de colheita de algodão após um processo de limpeza, bem como outros provenientes dos próprios sistemas de colheita foram, testados por RAZ (1984) para queima em fornalhas, com a finalidade de geração de energia. Relata o autor que a eficiência das caldeiras utilizadas permitiram uma substancial economia de combustível, evidenciando o alto teor de fibras dos resíduos de algodão, como fator de grande aproveitamento energético.

RUTHERFORD (1985) recomendam o uso de resíduos agrícolas, principalmente algodão em razão de seu alto teor de fibras, como combustível para uma pequena unidade de cogeração. Esclarecem também que alguns problemas devem ser minimizados, entre eles a remoção das cinzas que poderiam ocasionar uma redução no poder calorífico e a redução das altas emissões de NO. Resolvidas essas questões e aliados a novos processos de análise e a administração científica dos recursos energéticos, consideram os autores ser

possível gerar eletricidade para auto-suficiência nas indústrias de processamento de algodão.

Métodos alternativos de produção e custo efetivo de vapor em indústrias de processamento de beterraba foram estudados por WENZEL(1990). Os efeitos de novas legislações ambientais que penalizam a má disposição dos resíduos, as possibilidades de otimização das caldeiras e operações com turbinas também são analisadas. Conclui WENZEL(1990) que as indústrias de açúcar de beterraba devem possuir sistemas independentes de geração de energia, indicando a viabilidade da cogeração nesse tipo de indústria como uma forma de minimizar os custos de produção.

A utilização de biogás nos processos de cogeração foram estudadas por KOELSCH, WALKER & PELLERIN (1985). Os autores recomendam seu emprego na geração de energia elétrica, aquecimento de água e secagem de grãos.

Para o estado do Alabama (EUA), HANSON (1985) realizou um estudo econômico financeiro de um sistema de cogeração, indicando retorno rápido do investimento com alta taxa interna de retorno.

Conclui o autor que houve uma crescente eficiência de engenharia em comparação com processos de produção que utilizam avançada tecnologia, inclusive energia alternativa. Os estudos também revelaram que os subsídios do governo poderiam ser minimizados em razão da diminuição dos custos operacionais e vantagens com a venda da energia excedente.

WALSH & ROSS (1986) estudaram os sistemas de cogeração de energia utilizando metano resultante da degradação de resíduos orgânicos de bovinos, no

manejo da produção leiteira. No referido sistema, o esterco produzido pelos animais foi coletado e colocado em um macro digestor, sendo o biogás transformado em energia elétrica em processo de cogeração, utilizando-se essa energia para movimentar as ordenhadeiras, prover a refrigeração e outras necessidades energéticas das instalações.

2.2. Utilização do bagaço de cana como combustível

A utilização dos resíduos da produção agrícola como fonte suplementar de energia é conhecida a muito tempo. Porém, especificamente, o bagaço da cana tem tido o seu aproveitamento de forma efetiva a pouco mais de três décadas.

Numa fase inicial, como elemento combustível para as caldeiras que operavam necessariamente a lenha e óleo combustível, o bagaço de cana compareceu como uso alternativo.

Vantagens econômicas determinaram mudanças importantes na utilização dessa fonte de energia resultante da moagem da cana, pois o seu armazenamento tornou-se crítico num primeiro momento, devido ao grande volume envolvido. As fábricas de papel, consumidores sazonais desse resíduo, de uma forma geral ofereciam baixos preços por essa matéria prima, por resultar em produto de qualidade inferior, devido ao seu baixo teor de fibras quando comparados as madeiras apropriadas à produção do papel.

As primeiras idéias de utilização nasceram portanto da necessidade de se livrar do resíduo, tendo sido a região de Piracicaba (SP) a pioneira na utilização racional dessa matéria prima.

Modificações importantes foram introduzidas nas fornalhas e caldeiras, adaptando-as ao consumo de bagaço de cana.

ATCHISON (1968) afirma que a quantidade de bagaço produzido varia amplamente de área para área e, também de usina para usina. Uma estimativa mundial aproximada estabelece entre 1,2 a 1,3 t de bagaço livre de umidade, por

tonelada de açúcar de cana produzido. Para o autor tomando-se como base as estatísticas publicadas pelo Serviço de Investigações do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos sobre a produção mundial de açúcar centrifugado, a produção de bagaço em cada área açucareira pode ser facilmente estimada.

Os autores NEWTON & FERNANDEZ (1974) afirmam que as caldeiras alimentadas por bagaço evoluíram-se até transformarem-se em um meio prático na solução do problema da eliminação dos resíduos da cana de açúcar e ao mesmo tempo, constituem uma fonte econômica de produção vapor e força. O bagaço como combustível tem um número de importantes valores econômicos. Representa uma substancial fonte de calor: cerca de 3.600 a 4.200 Btu/lb quando queimado úmido e; 7.000 a 8.500 Btu/lb quando seco. Isto depende do teor de umidade, fibra, sacarose e quantidade de cinzas no bagaço.

Segundo RAO (1975) bagaço é o resíduo fibroso que sobra após o esmagamento da cana para extração do caldo, nas usinas de açúcar. Contém ao redor de 46 a 52% de umidade e é geralmente conhecido como bagaço úmido. Tanto na Índia, como em outros países, o bagaço é usado como combustível nas usinas de açúcar, para produzir vapor nas caldeiras, promovendo os primeiros movimentos, bem como aquecendo e concentrando o caldo de cana. As caldeiras das usinas de açúcar são, portanto, equipadas com tipos especiais de fornalhas para secar o bagaço úmido e queimá-lo simultaneamente. A razão para se usar o bagaço como combustível, nas usinas de açúcar, é sua disponibilidade imediata, sem incorrer em qualquer gasto adicional e sem depender de outra fonte externa

de combustível. O fornecimento ininterrupto de bagaço é também assegurado para cada usina durante todo o período de moagem. O valor calorífico maior ou total médio do bagaço com 48% de umidade (bagaço úmido) é de 2.222,4 kcal/kg (4.000 Btu/lb) enquanto que o mesmo valor calorífico do carvão mineral de grau médio é 6.111,6 kcal/kg (11.000 Btu/lb) e do óleo combustível é 10.000,8 kcal/kg (8.000 Btu/lb).

O mesmo autor afirma que 96,5% do bagaço produzido em todas as usinas da Índia é usado como combustível nas caldeiras das usinas e somente 2% usado para outros fins tais como na manufatura de papel, ração para o gado e outros produtos.

KERR (1975) enfatiza que as condições das caldeiras de bagaço nas usinas de açúcar estão longe de serem favoráveis. De fato, algumas delas estão mais próximas de "queimadores de bagaço" que "produtores de vapor". Em outras palavras, a fornalha de bagaço deveria ser desenhada não como um consumidor de bagaço, mas de preferência, para liberar a máxima quantidade de calor na caldeira.

CHATTERJEE & DUTT (1976) afirmam que entre os produtos derivados que se podem obter de uma usina de açúcar de cana, destacam-se os excedentes de bagaço, aproximadamente 5,0% do volume total e o potencial excedente de eletricidade, 1.300 kWh por 100 t de cana.

FURINES (1976) estabelece que o teor de umidade do bagaço nas usinas cubanas está na faixa de 47 a 48%, principalmente por causa da boa lavagem das canas e baixa velocidade de moagem. Na Louisiana (EUA), devido as

características da colheita, os teores de umidade variam de 49 a 52% ou mais, em alguns casos. Na Flórida, devido as altas velocidades de esmagamento e à presença de impurezas durante a colheita, o bagaço tem um teor de umidade entre 52 e 56%. O bagaço se constitui num resíduo combustível razoavelmente bom enquanto seu teor de umidade for igual ou inferior a 50%. Entretanto, quando o teor de umidade do bagaço aumenta, seu poder calorífico se reduz e a eficiência das caldeiras é substancialmente diminuída.

Para BEYT (1977) a qualidade do bagaço depende também do preparo da cana pelas facas ou desfibradores e, naturalmente, pelas moendas. Assim um bagaço fino, bem cortado e bem esmagado, é um bom combustível. A mais importante propriedade do bagaço, do ponto de vista da queima, é o teor de umidade. Os bagaços com diferentes teores de umidade apresentam grande diferença do ponto de vista da queima e essa diferença é acentuada pela presença de terra e palha. O autor recomenda queimar o bagaço seco e livre dessas impurezas. O bagaço com 40% de umidade queima em exatamente metade do espaço da caldeira, necessário para queimar o bagaço normal com 50% de umidade. Se o bagaço for apropriadamente moído e limpo, ele será um bom combustível e pode-se esperar, normalmente, cerca de 3.600 Btu/lb.

A indústria açucareira é uma das que possuem geração própria de força, assim como a de cimento, têxtil, entre outras, diferindo das indústrias que fazem uso de combustíveis de alto custo como carvão mineral, óleo combustível, etc., para produzir vapor exclusivamente para geração de energia elétrica, conforme RAO (1978), afirmando que na indústria açucareira o bagaço é usado como

combustível para produzir vapor. O primeiro objetivo da obtenção de vapor na usina é para produzir os primeiros movimentos e para obter vapor de baixa pressão (10 lb/pol²), o qual é requerido em grandes quantidades para aquecimento, evaporação e cozimento do caldo de cana no processo de fabricação do açúcar (vapor de processo). Assim, o vapor obtido a uma pressão de trabalho de 160 a 300 lb/pol², para o qual as caldeiras são projetadas, é usado em primeira instância para acionar os turbogeradores, gerando a força motriz necessária. Essa força motriz é usada para acionar geradores de força produzindo assim energia elétrica.

O aproveitamento do bagaço de cana registrou em 1977 um consumo de 20,9 milhões de toneladas afirma DANTAS (1979), correspondentes a 4,7 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo). As projeções de consumo indicam em toneladas de material, 29,5 milhões em 1980, passando para 36 milhões em 1983 e 44 milhões em 1987.

Atualmente a maior parte do bagaço é queimada nas caldeiras das usinas de açúcar e destilarias de álcool como fonte de energia térmica e termoelétrica. Uma parcela excedente é utilizada na fabricação de celulose, havendo, entretanto, fabricas de açúcar e álcool onde, além da bagaço, há queima de combustíveis adicionais.

Para OLIVEIRA (1980), o bagaço de cana resultante da moagem direta para álcool na safra 1978/79, excedeu em cerca de 35% as necessidades de combustível das respectivas destilarias, enquanto que o consumo nas fábricas de açúcar foi insuficiente para a alimentação das caldeiras em cerca de 3%. Com a

predominância de destilarias autônomas no mercado alcooleiro nacional, como resultado das atividades do PROALCOOL, está prevista uma sobra de bagaço que não só absorverá a falta dos 3% já referidos, como permitirá ainda a industrialização de 32% do volume resultante das canas moídas.

Ainda, OLIVEIRA (1980) afirma que o poder calorífico do bagaço, varia na conformidade da maior ou menor umidade nele contida. Também as moendas, ou seja, a maior ou menor capacidade das mesmas no sentido de espremer as canas, extraindo-lhes o caldo e mais a água adicionada na embebição, influi na umidade do bagaço. Com umidade superior a 50% do seu peso, o bagaço não queima bem porque dificulta a penetração do ar necessário à combustão, por entre as grelhas das fornalhas e provoca a formação de hidrocarbonetos nocivos à utilização normal do combustível. A tiragem deficiente das chaminés, pode também, ocasionar a formação de escórias fundidas, conseqüentes das altas temperaturas produzidas por alteração na combustão, vitrificando o bagaço em substância de cor esverdeada e de grande dureza. As cinzas fundidas, por sua vez, podem ser evitadas pela boa construção das fornalhas, facilitando a tiragem das chaminés.

Para CHENU (1980), atualmente as usinas açucareiras com destilarias anexas são mais ou menos auto-suficientes, dos pontos de vista térmico e de produção de energia. O bagaço é queimado em caldeiras apropriadas numa proporção de 250 kg por tonelada de cana, proporcionando 500 kg de vapor a uma pressão de aproximadamente 16 kg/cm^2 . Na produção de açúcar e álcool, este vapor passa através de turbinas, movendo as moendas e os geradores

elétricos e sai a uma pressão de $1,5 \text{ kg/cm}^2$. É necessária a produção de aproximadamente 30 HP por hora e por tonelada de cana, para satisfazer as necessidades das moendas e prover a usina com energia elétrica. Com o crescimento na demanda de energia elétrica e uma redução dos recursos hidráulicos, existe a possibilidade de se produzir energia elétrica adicional, mediante usinas açucareiras e destilarias autônomas. Segundo o autor, uma usina de tamanho médio, moendo umas 5.000 t de cana por dia, deveria ser capaz de produzir 5.000 kWh. As usinas no Estado de São Paulo, com uma moagem diária de umas 400.000 t de cana, teriam uma capacidade de produção possível de 400.000 kWh. Isto suporia uma produção de 440 milhões de kWh durante o período normal de safra.

Ainda, conforme CHENU (1980), essa não é a única possibilidade energética das usinas açucareiras. Na realidade são necessários 500 kg de vapor a $1,5 \text{ kg/cm}^2$ por tonelada de cana para processamento, isto é, 450 kg para processamento do açúcar e 50 kg para processamento do álcool residual. Uma sofisticação um pouco maior nos métodos atuais de processamento permitiria reduzir estas necessidades a 400 kg. A incorporação destas sofisticações para reduzir o consumo de vapor a 400 kg por tonelada de cana, custaria menos que a instalação das caldeiras necessárias para gerar a diferença. Por outro lado, devido a limitação na produção de açúcar, na produção de álcool a partir de cana nas destilarias autônomas ou nas destilarias anexas funcionando como unidades autônomas, o consumo total de vapor no processo é atualmente de aproximadamente 400 kg por tonelada de cana transformada em álcool. Como

conseqüência se pode ter um excedente de 100 kg de vapor por tonelada de cana moída, tanto para açúcar como para álcool, correspondendo a uns 50 kg de bagaço. Este excesso de bagaço permitiria produzir 100 kg de vapor a 60 kg/cm^2 e 400°C . Usando turbogeradores para a condensação, já que este vapor não é necessário para o processo, haveria um excedente produzido de 20 kWh por tonelada de cana moída. Uma usina de tamanho médio moendo 5.000 t de cana por dia poderia, desta forma, produzir aproximadamente 4.000 kWh adicionais. Como conseqüência, as usinas no Estado de São Paulo teriam uma capacidade de produção adicional de 1.200 milhões de kWh de eletricidade durante o período de safra. É óbvio que a possível produção das usinas não é exatamente a soma destas cifras com a anteriormente mencionada de 440 milhões de kWh, já que no primeiro caso há uma produção de 500 kg de vapor por tonelada de cana e somente se necessitam 400 kg para o processamento. Um cálculo do possível excedente de produção total de energia elétrica no Estado de São Paulo fornece aproximadamente 1.150 milhões mais 1.200 milhões que supõem um total de 2.350 milhões de kWh produzidos durante os meses de tempo seco quando os recursos hidráulicos estão em seus níveis mais baixos.

De acordo com MURATA (1980), em 1978 a indústria açucareira do Havá produziu e consumiu internamente, combustível (bagaço e palhiço) equivalente a 2,7 milhões de barris de petróleo. Menos de 4% da produção de bagaço existente é considerada excedente. As diferentes quantidades de palhiço que não foram utilizadas encontram-se disponíveis nas diferentes usinas. Este palhiço, quando preparado adequadamente, pode ser um combustível valioso,

como demonstram as usinas que correntemente o empregam. Segundo o autor, nas condições atuais (1978), queimando-se todo o excesso de bagaço, assim como todo o palhiço, a indústria poderia ampliar sua produção bruta de eletricidade em até 20%. A produção líquida de eletricidade seria, aproximadamente, uma média dessa quantidade, ao redor de 60 milhões de kWh anualmente. O autor afirma ainda que o bagaço é um exemplo de fonte renovável alternativa de energia e que em qualquer plano de auto-suficiência de energia, as plantações são e continuarão sendo as principais contribuintes para se chegar a auto-suficiência.

MARANHÃO (1981) analisa que com a atual crise mundial de combustíveis fósseis, tornou-se fundamental a necessidade de recuperar o máximo de energia disponível no bagaço de cana. Por isto, o autor sugere que se utilize um secador individual de bagaço, que é um sistema que, aproveitando os gases da chaminé, diminui a umidade do bagaço saído da moenda em 10 a 15 pontos percentuais, aumentando a produção de vapor entre 13,5% e 15,45%, respectivamente.

Muitas usinas açucareiras produzem, normalmente, energia elétrica para seu próprio consumo total ou parcial, empregando o bagaço como fonte de combustível, conclui PEREA (1981). Existem algumas usinas, as quais, além de gerar todas as suas necessidades de eletricidade, usam o excesso de bagaço para produzir mais eletricidade, e vende-la a companhias elétricas públicas. Na atual situação, o custo da energia, em geral, e do óleo combustível, em particular, tem aumentado constantemente a um ritmo acelerado durante os últimos anos. Como

resultado a idéia de gerar eletricidade nas usinas açucareiras para vendê-la as companhias de eletricidade, utilizando o excesso de bagaço como combustível, tornou-se muito importante. Recentemente, a United States Sugar Corporation, na Flórida, iniciou a operação de uma central de 20.000 kW, alimentada somente com excesso de bagaço, e a eletricidade gerada pela mesma é vendida a uma companhia elétrica local. Esta produção de energia representa uma economia de 10 milhões de litros de petróleo por ano em uma safra de 120 dias.

De acordo com GUILHON (1982), no campo das biomassas residuais, o bagaço de cana, pelas condições como se apresenta, é aquele que reúne os melhores atributos econômicos para ser industrializado e competir industrialmente com o óleo combustível, isto em virtude de diversas vantagens em relação às outras biomassas, onde se destacam: ter uma lavoura organizada, cujos custos são debitados ao produto nobre, o álcool; ter todo o sistema de transporte, campo-indústria, organizado e correndo por conta do mesmo produto nobre; ser produzido em grandes quantidades, concentradas em um ponto que o libera semi-beneficiado, graças ao trabalho de moagem.

Para GUILHON (1982), o aproveitamento racional do bagaço residual traria: sensível aumento de até 74% do rendimento termo-energético da cana, sem nenhum investimento agrícola; tendência para manter o equilíbrio do refino gasolina - óleo combustível; facilidade da substituição do óleo combustível nas pequenas e médias indústrias com menor investimento na adaptação do equipamento, uma vez que os gases da combustão são praticamente isentos de

enxofre e outros poluentes e a quantidade de cinzas ser pequena, cerca de 3% a 5%.

SOUZA (1983) estudando a associação das duas fontes de energia elétrica, utilizadas pela Usina Açucareira São Manuel, no triênio 1978-80, constatou que ao contrário da geração própria, a taxa de variação da energia elétrica consumida no processo industrial por unidade de variação da cana processada é crescente, e que a taxa de variação da energia elétrica total consumida no processo industrial por unidade de álcool produzido também é crescente, isto é, gasta-se cada vez mais energia elétrica para cada unidade a mais de álcool produzido. O estudo revelou também que com o aumento da tonelagem de cana moída e conseqüente aumento no consumo de bagaço, a usina ficou mais dependente do fornecimento da energia elétrica da concessionária.

O autor observou ainda, através dos estudos da demanda lida e demanda faturada, que a indústria não conseguiu manter, no período estudado, a condição de consumidor sazonal.

BALBO & PADOVANI NETO (1987) estudaram o comportamento de sobra de bagaço e excedente de energia elétrica para as seguintes alternativas: auto-suficiência a 2,1 MPa e 553° K, geração parcial a 4,2 MPa e 673° K, geração parcial a 6,0 MPa e 723° K e geração total a 6,0 MPa e 723° K. Neste estudo não consideraram a uniformização da geração de todo o vapor a 4,2 MPa devido a dificuldade em viabilizar turbinas para operarem com expansão entre 4,2 e 2,1 MPa, elevando o custo em US\$/kW. Os autores concluíram que concepções com sistema operando a 6,0 MPa são as que levam a melhores

resultados, sobretudo no aspecto excedente de energia elétrica. Acrescenta-se a isso o fato de possibilitarem o balanceamento do sistema com consumo no processo de até 250 kg de vapor/tc, potencializando sobra de bagaço de 40%.

Um estudo completo levado a efeito por LORENZ (1987), afirma que a fabricação de açúcar e álcool requer energia térmica, mecânica e elétrica, que é obtida do bagaço da cana moída. O consumo total de energia é determinado pelo processo de fabricação, pelas eficiências térmicas dos sistemas de transformação e pelo montante de sacarose extraído da cana.

Segundo WALTER (1993), a quantidade de bagaço que se obtém por unidade de massa de cana depende do teor de fibra da cana. Os cálculos usuais de excedente de bagaço e de disponibilidade de combustível em sistemas de cogeração das usinas do sudeste do país consideram teores de fibra da ordem de 12,5% a 13%, o que permite alcançar 250 ou 260 kg de bagaço com 50% de umidade por tonelada de cana moída.

2.3. Cogeração em indústrias de processamento de cana

Segundo YORK (1975), as turbinas de baixa velocidade tem velocidades funcionais mais baixas que 3.600 rpm e turbinas de alta velocidade trabalham entre 3.600 e 14.000 rpm, apesar de algumas firmas fabricarem turbinas que trabalham a velocidade de até 24.000 rpm. O volume de vapor que há de passar

por uma turbina de vapor, fixa o tamanho da máquina. Esses fatores favorecem o uso de turbinas de alta velocidade para impulsionar tanto as máquinas de alta velocidade como as de baixa velocidade. Não há dúvida de que a turbina de alta velocidade para potenciais de até 30.000 cavalos de força de freio (aproximadamente 22 megawatts) é essencialmente mais eficaz que a correspondente turbina de baixa velocidade.

De acordo com ARNOLD (1976) o sistema elétrico em uma usina de açúcar constitui uma importante parcela de seus equipamentos e deve ser inteiramente auto-suficiente, cobrindo ambas, a geração e utilização da energia. Numa usina que processa ao redor de 2.500 t de cana por dia, o sistema compreende numerosos geradores, uma ampla rede de distribuição, e mais de 300 motores, sendo a maioria deles de corrente alternada tipo indução. Inerente ao desempenho deste sistema é importante o aspecto do fator de potência, que deverá primeiro ser sucintamente definido. Devido a indução em um circuito de corrente alternada; uma diferença de fase existe entre a voltagem V aplicada e a corrente A . O produto de volts e ampères, VA , representa a potência "aparente" do circuito. Devido, entretanto, ao ângulo da diferença de fase ϕ , a potência "verdadeira" é menor, sendo o produto do volts V e a componente de A , na direção de V , isto é, $VA_1 \cos \phi$. O $\cos \phi$ é denominado fator de potência, que nos motores de indução varia com a carga. Em termos práticos, fator de potência é o parâmetro pela qual o kVA é multiplicado para dar kW.

Conforme PIEDADE & SOUZA (1977), as usinas de açúcar, as destilarias e refinarias autônomas e as destilarias de aguardente se constituem

num exemplo significativo para constatação das características da demanda e consumo de energia elétrica, em uma agroindústria enquadrada como consumidor sazonal. A concessionária, ao fornecer energia a uma indústria, espera que esta mantenha durante os meses do ano um fator de utilização elevado e próximo de uma constante. Esta condição implica em aproveitar efetivamente os gastos decorrentes para manter nos barramentos do consumidor a energia compatível com a potência instalada. Esta condição, não podendo ser atingida, obriga a concessionária a se valer das disposições contidas na legislação vigente que impõe taxações independentes das leituras mensais dos medidores. Pela sua natureza, as usinas de açúcar e as destilarias de álcool e aguardente, se localizam em zonas rurais e apresentam uma variação profunda nos valores de demanda e consumo durante o ano, uma vez que operam apenas durante o período de safra. Segundo os autores, atendendo a essas particularidades, a legislação estabeleceu uma classificação especial de consumidores. As tarifas sazonais se constituem numa vantagem oferecida pela legislação em vigor que não pode ser desprezada pelas indústrias rurais. A necessidade de manter um registro de pelo menos quatro demandas mensais inferiores a 20% (vinte por cento) da maior demanda verificada, por medição, nos 12 (doze) meses anteriores à análise, deve ser mantida, devendo ser uma preocupação da indústria nos meses de entressafra. Outro aspecto que não deve ser esquecido, é que pela própria natureza de sua atividade, a sazonalidade, gera nos meses de entressafra, uma diminuição na relação entre a corrente ativa e a corrente total, induzindo um baixo fator de potência nas instalações, fonte de nova taxação prevista pela legislação.

MURATA & GIBSON (1977), fazendo um inventário da energia para as usinas de açúcar havaianas, verificaram que em 1975 as mesmas produziram aproximadamente 18,2 trilhões de Btu, das quais 14,2 vieram da queima de bagaço, 0,4 do palhiço, 3,3 do óleo combustível e 0,3 de outros combustíveis. Em 1975, as fábricas havaianas de açúcar consumiram 697 milhões de kWh de eletricidade, sendo 625 milhões originados de geração própria e 72 milhões adquiridos de concessionários. Desse total, foram consumidos aproximadamente 493 milhões e vendidos 204 milhões aos serviços públicos.

SOUZA et al (1978) estudando os problemas decorrentes das associações de turbogeradores com o fornecimento de energia elétrica de concessionárias, em usinas de açúcar e destilarias de álcool, verificaram através dos resultados obtidos, que a usina pode sofrer uma tarifa mais elevada, em consequência de uma combinação inconveniente das duas fontes energéticas mencionadas. Segundo SOUZA et al. (1978), as potências associadas para a efetivação da produção, são variáveis com o tempo. A potência própria gerada (P_p) para uma condição de plena flexibilidade deve, durante a safra, estabilizar num valor próximo do máximo, caindo a zero na entressafra.

A potência comprada da concessionária (P_c) atende às necessidades do processo industrial, oscilando entre um consumo mínimo na entressafra e um máximo no período de safra.

Sendo a potência total absorvida (P_m) no processo, pode-se estabelecer que:

$$P_m = P_c + P_p.$$

Relacionando-se as duas potências parciais por um coeficiente (α) tem-se:

$$\alpha = P_p/P_c,$$

consequentemente:

$$P_m = P_c (1 + \alpha).$$

O coeficiente assim definido pode sugerir uma maior ou menor independência da usina durante a safra, ao mesmo tempo que pode indicar também uma maior dificuldade de controlar a demanda de potência na entressafra.

O uso das tensões de 127 e 220 volts, no meio urbano, é uma prática uniformizada em nosso país, conforme afirmam PIEDADE JR. (1978), sendo regida pela carga instalada do consumidor, mediante a qual a concessionária define o sistema de atendimento.

A agroindústria do açúcar e do álcool necessita, em função de seu porte inicial e de programas de expansões, ter presente os níveis de tensão em que se farão as distribuições.

Ainda segundo o autor, as tensões de 125 e 220 volts devem ser reservadas para locais específicos onde exista a necessidade de manter uma tensão segura e afastada no limite superior da classe de isolamento (0,6 kV). São locais de riscos para pessoas em manuseio de máquinas específicas, de pesagem e empacotamento e iluminação onde existam inflamáveis.

ZARPELON (1981) afirma que o consumo de energia elétrica nas usinas de açúcar pode variar de 8 a 18 kWh por tonelada de cana moída, dependendo do grau de sofisticação das mesmas.

O sistema mais usado nas usinas no Estado de São Paulo compreende caldeiras com 2,1 MPa de pressão a 553 K com turbinas de simples estágio nos turbogeradores.

Esses sistemas são sabidamente de baixo rendimento térmico, o que possibilita uma geração média de energia elétrica nas usinas de açúcar e álcool no Estado de São Paulo entre 7 e 12 kWh/tc, levando as mesmas a adquirirem das concessionárias entre 30 e 35% do total de energia elétrica que consomem.

Descreve LIBONI (1982), que a energia elétrica, por ser um insumo de produção, ou seja, constituir-se em um dos elementos da composição do custo, deve ser objeto de atenção e análise quanto à racionalização de sua utilização.

De acordo com FONSECA (1983) as concessionárias brasileiras aplicam um sistema de tarifação baseado na seguinte formulação: "O custo da conta de energia é igual ao custo da demanda, mais o custo do consumo (importe), tributos (empréstimo compulsório e imposto único) e ajuste do fator de potência, quando necessário."

Além de cobrar o consumo, a concessionária cobra a demanda, tendo em vista que sua capacidade de atendimento é função da potência instalada, e tem sua justificativa na reserva que faz de uma fração dessa potência, que é colocada à disposição do consumidor durante 24 horas por dia. A demanda considerada

para efeito de faturamento, ou demanda faturada, exceto para consumidores rurais e sazonais, será maior dentre:

- demanda máxima verificada por medição, em qualquer intervalo de 15 minutos, durante o período do faturamento;
- 85% da maior demanda verificada em qualquer dos 11 meses anteriores;
- demanda fixada em contrato de fornecimento, quando for o caso.

As usinas de açúcar e álcool podem ser classificadas como consumidoras sazonais, pois sua matéria-prima provém da agricultura e tem seu processo de industrialização por tempo determinado, ou seja, são empresas cujo processo industrial se divide em dois períodos distintos: safra e entressafra. Assim, desde que através do controle da demanda, não se permita que a mesma ultrapasse a 20% da demanda máxima registrada num período de 12 faturamentos, durante 4 períodos, a demanda faturada será igual a demanda registrada.

Porém, se não for cumprida essa exigência, devido à inexistência de controle ou mesmo por motivo justificável, perder-se-á instantaneamente a condição de consumo sazonal, passando a demanda faturada a ser 85% da máxima registrada nos últimos 11 faturamentos.

Em sua análise sobre o potencial de cogeração de energia elétrica no Estado de São Paulo, CAMPOS (1987) explica que existe certa variação entre os valores apontados por diferentes autores. Atribui estas variações ao fato dos cálculos serem baseados em usinas com diferentes níveis de modernização. O autor verificou que no Havaí, no ano de 1978, a cogeração permitiu obter um

rendimento de 78,76 kWh/tc. Com base nessa informação considerou razoável um potencial de 70 kWh/tc.

Tomando esse número como referência e a capacidade anual de moagem no Estado de São Paulo que era de 110 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, o referido autor concluiu que poderiam ser gerados 7.700.000 MWh de energia elétrica, representando 76% da energia elétrica distribuída pela CPFL no ano de 1985.

No mesmo artigo o autor chama a atenção para o fato das usinas de açúcar e álcool no, Estado de São Paulo, gerarem entre 7 e 12 kWh/tc, levando-as a uma dependência externa no consumo de energia elétrica entre 30 e 35,4% do total e que a sazonalidade do consumo é um motivo para as concessionárias desejarem, pelo menos, a auto-suficiência das usinas de açúcar e álcool.

RAZUK (1989) afirma que a agroindústria sucroalcooleira é, potencialmente, um pólo de desenvolvimento regional. Afirma ainda que o ciclo termodinâmico inserido no processo industrial é, de todos, o mais sensível a procedimentos de otimização, objetivando a cogeração de energia elétrica excedente para aplicação na sua comunidade, tendo em vista o seu benefício social. Em seu estudo propôs um ciclo termodinâmico alternativo para a Usina São José localizada no município de Macatuba, Estado de São Paulo, concluindo que o tempo de retorno do investimento era de três safras.

De forma geral, uma indústria de processamento de cana tem sua safra ocorrendo em um período de seis meses, que se estende de maio a outubro. Pode-se afirmar que a cana, matéria prima dessa indústria, tem um aproveitamento

total, representando uma fonte apreciável de subprodutos que se estendem do açúcar e do álcool aos aglomerados de bagaço, passando pelos defensivos agrícolas, medicamentos, plásticos, ácidos diversos, alimentos para animais e papéis entre outros. BALBO (1990) afirma que esses subprodutos possuem expressão comercial no Brasil, citando o exemplo do butanol, proveniente da alcoolquímica. Outros, mais recentemente, começam a ser explorados. Existem ainda aqueles em fase de pesquisa e os que, embora possuidores de tecnologia para produção comercial, no momento se mostram economicamente inviáveis, por sofrerem a concorrência de similares altamente subsidiados, particularmente a nafta do petróleo. Revela ainda BALBO (1990) que o bagaço da cana possivelmente seja, no presente, o mais significativo subproduto da agroindústria, permitindo múltiplas utilizações.

O mais tradicional uso desse material tem sido a queima, visando a geração de energia que até há pouco tempo era apenas consumida pelas próprias usinas. Hoje, com a utilização de novas tecnologias, estas passaram a fornecer excedentes de energia às concessionárias de serviço público, devendo em breve ocuparem um papel importante na constituição da matriz energética nacional.

O setor sucroalcooleiro no Brasil, tem conseguido obter bons ganhos de produtividade (em média 4% ao ano, no período 1980-1990) tanto na produção de açúcar como na de álcool. A nova realidade obriga a utilização da cana de açúcar como biomassa, melhorando o balanço energético das indústrias e gerando, conseqüentemente excedente de bagaço. Segundo BALBO (1990) esse excedente, na maioria dos casos, está sendo aproveitado para geração de energia

elétrica por cogeração, reduzindo os custos da produção, além de provocar incremento da oferta de energia elétrica. Afirma o referido autor que, no processo de fabricação de açúcar e álcool, cerca de 70% do consumo de energia ocorre na forma térmica. Os restantes 30% perfazem a energia de acionamento (elétrica e mecânica) e as perdas. O consumo de energia de acionamento é cerca de 25 kWh/tc, sendo 14 kWh/tc na forma mecânica para acionamento de moendas, principalmente. Os restantes 11 kWh/tc na forma elétrica, utilizados em bombas, exaustores, centrífugas e outras máquinas. O sistema implantado na Usina São Francisco pode ser analisado na Figura 2.1

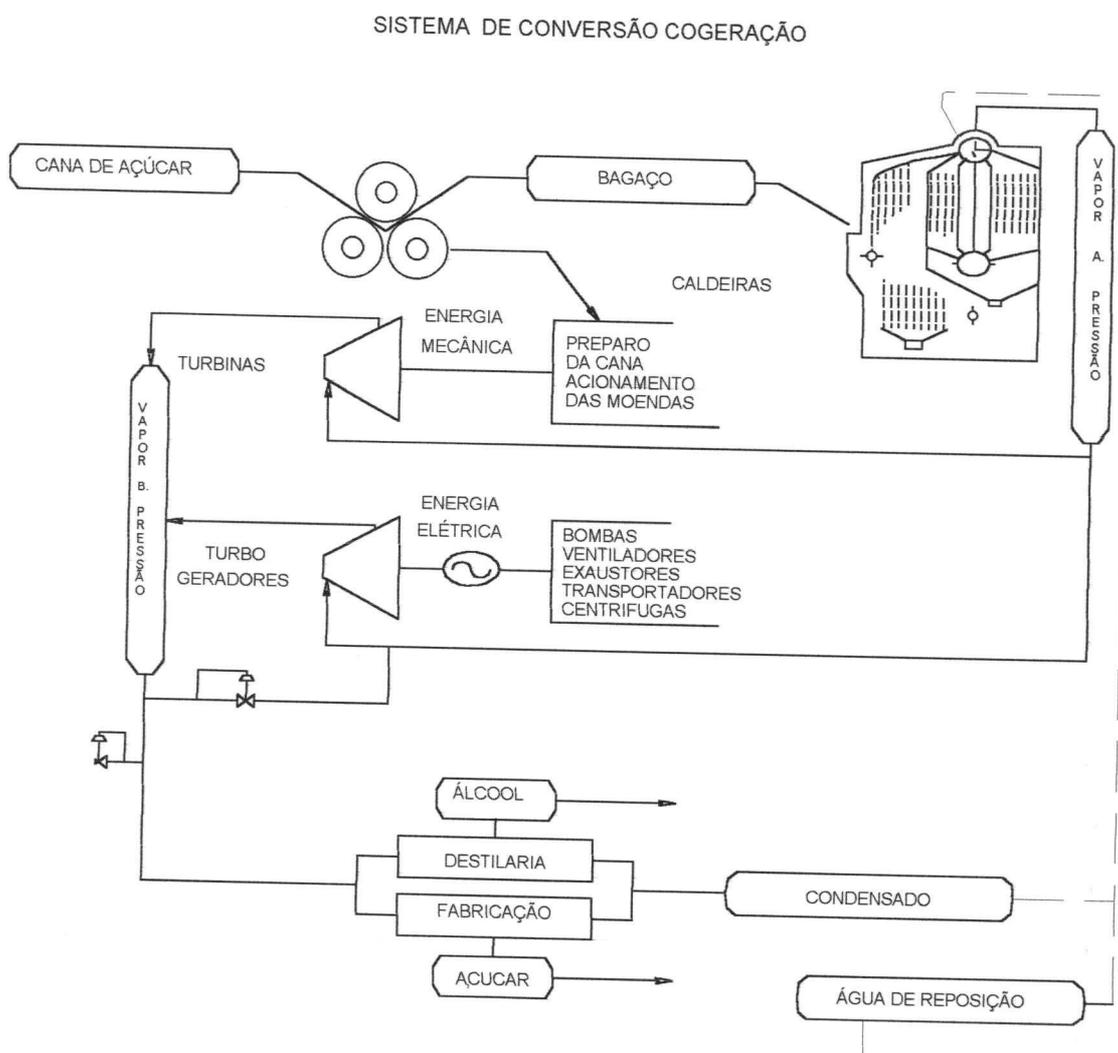


FIGURA 2.1 - Geração de energia a partir da utilização do bagaço de cana de açúcar. "Sistema de Conversão Cogeração" de acordo com BALBO (1990)

Ainda, de acordo com BALBO (1990), o setor sucroalcooleiro tem grande potencial para aumentar a geração de energia elétrica em cogeração, atingindo a auto-suficiência e gerando também excedentes para venda. Esse fato é particularmente interessante para região Centro-Sul, onde a safra coincide com o período de seca. Teoricamente, os principais fatores que determinam a geração

de energia elétrica são: a pressão das caldeiras (média no Brasil 21 kgf/cm²) e a qualidade e capacidade dos turbogeradores.

Uma estimativa do potencial de geração adicional de energia elétrica pode ser feito, extrapolando para o Estado de São Paulo e Brasil as médias do sistema COOPERSUCAR (Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo), utilizando-se 12 kWh/tc como consumo médio e 9 kWh/tc como energia autogerada, exprimindo a energia adicional como potência efetiva em 190 dias com fator de capacidade 0,8.

VERMA & KHATTAR (1990) afirmam que o passo básico para a cogeração corresponde à economia de bagaço com auxílio de compressor mecânico. Por isso, nos diversos tipos de usinas de açúcar as caldeiras devem trabalhar em torno de 3,2 MPa de pressão a uma temperatura de 653° K para serem eficientes, principalmente se destinadas a cogeração. Os autores propõem sistemas integrados modernos para caldeiras de alta pressão em torno de 4,5 MPa e 753° K de temperatura ao mesmo tempo que consideram o tamanho ideal do turbogerador na faixa de 10,5 MW.

Levando em conta vários aspectos desenvolvidos em seu trabalho, ZARPELON (1990) conclui que a pressão ótima, dentro do nosso horizonte, talvez fique ao redor de 3,1 MPa com temperatura de vapor na faixa de 623 a 643 °K. Com isso, tanto pode-se acionar turbinas de moendas como de turbogeradores.

KINOSHITA (1990) considera que, em média, seria eficiente um consumo de 300 kg de vapor por tonelada de cana e um consumo menor que 30

kWh de eletricidade por tonelada de cana processada. No Havaí, suas pesquisas anteriores revelaram que o consumo de vapor varia entre 140 a 350 kg por tonelada de cana.

KINOSHITA (1991) porém, argumenta que cada novo incremento de produtividade, está diretamente ligado a outros de tecnologia diferenciada. Essa manifestação do autor pode ser ratificada na Figura 2.2.

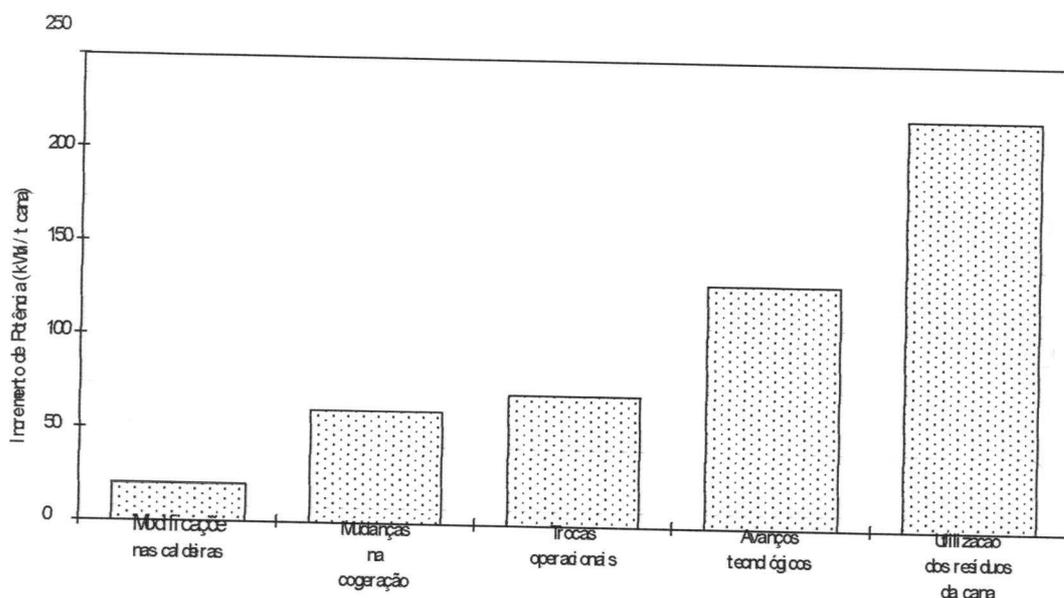


FIGURA 2.2 - Fatores que diferenciam o incremento de potência em usinas de açúcar e álcool segundo KINOSHITA (1991).

O melhoramento técnico no aproveitamento de bagaço e folhas da cana nas indústrias de açúcar e álcool, foi motivo de experimentação realizado por KINOSHITA (1991), quando estudou a indústria açucareira do Havaí. Comparada a indústrias de outros países, o autor avalia que, em média a conversão de cana em eletricidade gira em torno de 10 kWh/tc. No entanto, as

fábricas do Havai geram em média 60 kWh/tc. Em alguns casos chegam a 100 kWh/tc. O Havai produz em torno de 800 GW/h safra, porém somente a metade desse montante é necessária para satisfazer as necessidades e exigências internas de energia das usinas. O restante é exportado para o sistema de distribuição. Atribui o referido autor um valor preponderante aos sistemas de cogeração, concluindo que correspondem ao fornecimento de energia firme por longo período do ano.

Segundo CASTRO & QUIROS (1991), a Costa Rica contava com uma capacidade de geração instalada, ao final de 1989, de aproximadamente 998 MW, dos quais 68,7% correspondem a plantas hidrelétricas e 31,3% a plantas térmicas. A projeção de geração para a década de 90 era estimada em 1.100 MW, para isso se esperava que a geração paralela que o setor privado, incorporada ao sistema nacional cubra 15% da capacidade instalada, o que representa 165 MW.

KINOSHITA (1992) apresenta na Figura 2.3 um estudo da capacidade de geração por tonelada de cana, em alguns Estados dos Estados Unidos.

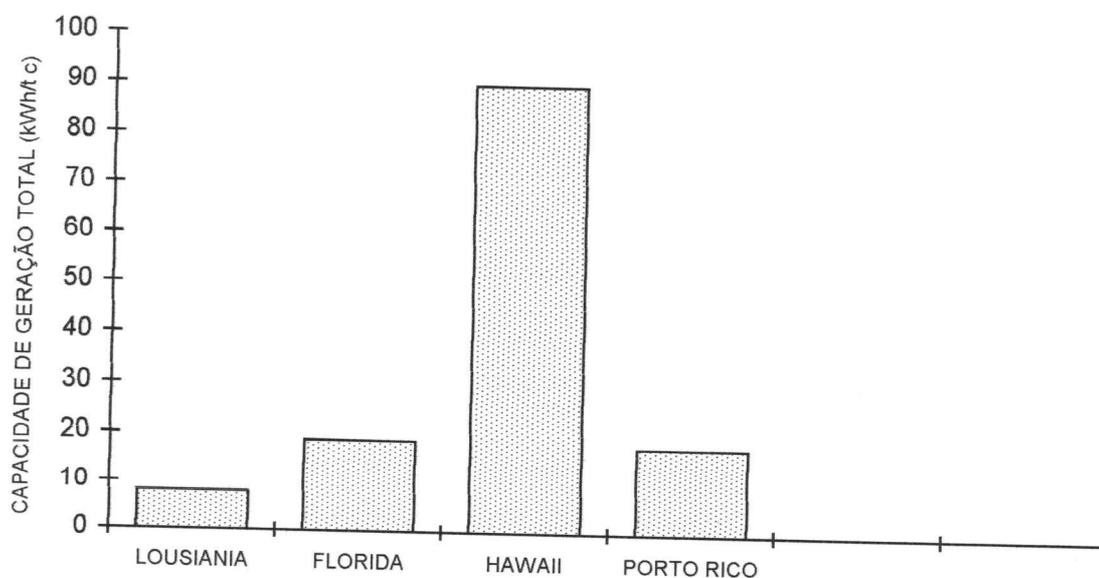


FIGURA 2.3 - Capacidade de geração por tonelada de cana em alguns estados dos Estados Unidos de acordo com KINOSHITA (1992).

KINOSHITA (1992) também reporta que a grande oportunidade de se gerar energia elétrica adicional reside no fato de ser muito rico o bagaço de cana. No Havai, com o aumento do desempenho das caldeiras houve um incremento significativo na cogeração. Paralelamente, melhorou-se a eficiência da utilização do vapor a nível industrial.

Num estudo detalhado do sistema de cogeração da Ilha de Reunion, o GROUPE CHARBONNAGES DE FRANCE(1992), destaca o projeto de La Centrale Thermique Bagasse Charbon de Bois Rouge, afirmando que a valorização do bagaço, como combustível associado ao carvão é um produto muito útil para ser usado, não só na geração de eletricidade, mas também como fonte de calor a outros tipos de indústrias. O rendimento na Ilha de Reunion é cerca de 320 kg de bagaço por tonelada de cana. Aquela ilha produz 2,2 milhões de toneladas de cana tendo à sua disposição 700.000 toneladas de bagaço com

poder calorífico ao redor de 1900 kcal PCI/kg. A Usina Bois Rouge foi modernizada a partir de 1980, face à necessidade de aumento da produção de açúcar e incremento na produção de energia elétrica. Dessa forma, a Cia Charbonnages propôs a instalação de uma central térmica de utilização simultânea de dois combustíveis, carvão e bagaço. Foram instalados dois grupos geradores de 30 MW com caldeiras de 80 bar a 520°C. O projeto previa a geração de 300 GWh a partir de 1994.

Também sobre o desempenho da indústria de processamento de cana na Ilha de Reunion, REVIERE (1992) estudou os sistemas de cogeração das usinas Le Gol, Bois Rouge, Beaufonds e Grands-Bois, enfatizando que a Electricité de France (EdF) tem um interesse especial nos programas de cogeração a partir de bagaço, afirmando que as usinas de processamento de cana podem suprir até 50% das necessidades de energia elétrica da ilha, reduzindo a importação de carvão e petróleo. Portanto, as fábricas de açúcar constituem uma ótima forma de se gerar eletricidade adicional, recomendando também que novos estudos devam ser implementados para reduzir o teor de umidade do bagaço de 45 para 35%, o que consequentemente reduziria a emissão de poluentes.

Segundo ZARPELON (1993), a partir de 1992 somente três usinas de açúcar estão operando na Ilha de Reunião, como resultado da fusão de outras de menor porte que desapareceram. Estas usinas foram projetadas para produzir 100 kWh/tc, índice este atingido pelas usinas havaianas.

POOLE (1993) aponta a cogeração como sendo a melhor opção energética para o Brasil, caracterizando-a como atividade muito promissora. O

autor avalia que a cogeração é uma atividade tradicional nas indústrias de processamento de cana, mas sua implantação tem sido vagarosa na última década. Afirma também, que no Estado de São Paulo 92% do consumo de energia elétrica dessas indústrias, provêm de sistemas de cogeração, a qual começou com 60% na década passada. A média de cogeração será incrementada nas duas próximas décadas. Dessa forma, as indústrias poderão exportar cerca de 500 a 2.800 MW a custos relativamente mais baixos que a energia hidrelétrica, porque as despesas de investimento são substancialmente menores. Alerta, porém, que a administração desses recursos energéticos deve ser cuidadosamente planejada de modo a minimizar os impactos ao meio ambiente.

O setor sucroalcooleiro brasileiro tem grande potencial para aumentar a geração de energia elétrica em sistemas de cogeração, atingindo a auto-suficiência e ainda gerando excedentes para venda. Afirma ainda POOLE (1993), concordando com BALBO (1990), que isto seria particularmente interessante na região Centro-Sul do país, onde a safra coincide com o período da seca. Tecnicamente os principais fatores que determinam a geração de energia elétrica são a pressão nas caldeiras, a qualidade e a capacidade dos turbogeradores.

Segundo COELHO et al. (1994), a maior eficiência na cogeração de eletricidade no setor sucroalcooleiro pode ser obtida, a curto prazo, através de técnicas de conservação de energia no processo de produção de açúcar e álcool, reduzindo o consumo de bagaço, bem como através de modificações no ciclo de vapor, com a elevação da pressão nas caldeiras e introdução de turbinas de extração-condensação (CEST – Condensing-extraction steam turbine).

A médio prazo, existem os sistemas de gaseificador/turbina a gás. Apesar de se tratar de tecnologia ainda não comercializada, estima-se que a mesma será viável dentro de alguns anos, uma vez que a gaseificação de madeira e de outras biomassas já apresentaram resultados satisfatórios.

Os mesmos autores estimam ainda que, o potencial de cogeração a ser alcançado com a introdução destas tecnologias mais eficientes é de 4.500 MW, somente no Estado de São Paulo.

Para GOLDEMBERG (1999), a baixa eficiência dos sistemas atualmente em uso é o principal problema na geração de energia a partir da biomassa. Para o autor, a cogeração de eletricidade através da queima do bagaço com eficiência de 20 a 30%, leva a um potencial estimado em cerca de 10.000 MW para o país.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Introdução

O presente trabalho foi desenvolvido junto a duas indústrias de processamento de cana, localizadas em municípios da região de Ribeirão Preto como pode ser visto na Figura 3.1.

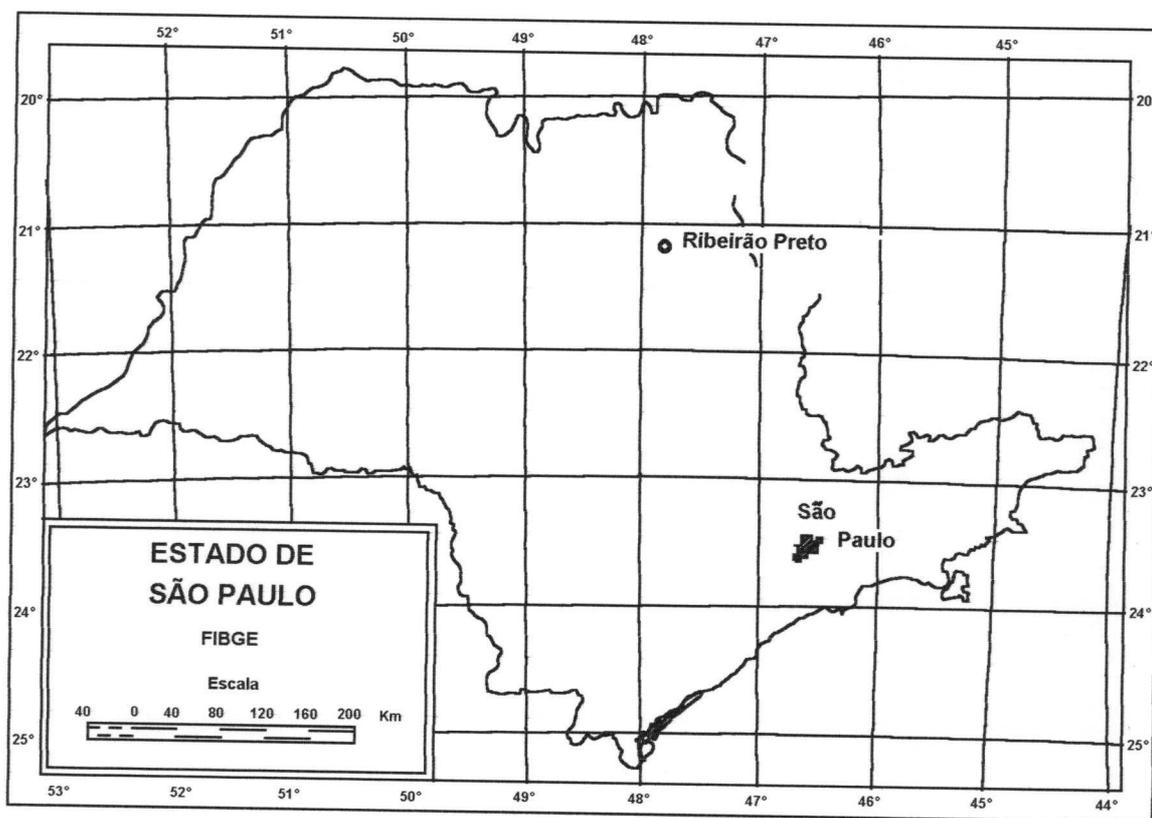


FIGURA 3.1 - Localização das usinas estudadas na região norte do estado de São Paulo.

A região de Ribeirão Preto, sofreu uma grande mudança na sua matriz energética provocada pela industrialização regional e por necessidades cada vez maiores de produção de energia. Atualmente, representa a maior região açucareira do Estado de São Paulo, sendo responsável por 24% da produção de açúcar e 16% da produção de álcool da safra nacional. As usinas estudadas produzem energia elétrica em sistemas de cogeração, cujo excedente é vendido à CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) desde 1990.

A Usina A, instalada no município de Jaboticabal, é uma usina antiga, que registrou em 1937 sua primeira produção de açúcar com 1393 sacos de 60 kg. A primeira produção de álcool foi realizada em 1968, com um volume aproximado de 5.043 m³. Em 1977, sofreu diversas modificações em sua planta industrial, aumentando significativamente sua capacidade de moagem, passando a mesma de 324.000 toneladas/ano em 1974 para 1.720.000 toneladas/ano em 1992.

O conjunto de turbogeradores da Usina A é composto por três unidades com as seguintes características:

Gerador 1 - BROWN BOVERI, tipo WGWGB 800 FB4, com potência nominal de 10.000 kVA, tensão nominal de 13,8 kV, 60 Hz e fator de potência nominal 0,8. Essa unidade é acionada por uma turbina DEDINI DME 560/D, de 8.000 kW.

Geradores 2 e 3 - marca MAUSA tipo LD4, com potência nominal de 1.500 kVA, tensão nominal de 400 V, 60 Hz e fator de potência nominal 0,8. O

acionamento dessas duas unidades é realizado por turbinas DEDINI 85 CE de 1.500 kW. Tais equipamentos são utilizados como unidades reserva do Gerador 1.

A usina possui quatro caldeiras que somam uma capacidade nominal de produção de 260 tv/h à pressão de 21 kgf/cm². Somente a partir de 1991 a Usina A passou a gerar excedentes que foram vendidos a CPFL através de contrato anual.

A Usina B, instalada no município de Morro Agudo, iniciou a venda de seus excedentes de produção de energia elétrica a partir de julho de 1990. O complexo gerador da usina é composto por quatro turbogeradores TOSHIBA, modelo AKZ de 4.000 kW e turbinas de múltiplos estágios de contrapressão com uma vazão de vapor vivo de 49,5 t/h.

Os geradores produzem energia elétrica na tensão de 13,8 kV em 60 Hz, o fator de potência é de 0,8 em regime de serviço contínuo e o consumo específico de vapor é de 15,5 kg/kWh.

No ano de 1995 foram realizadas diversas modificações na planta energética da usina, com a finalidade de aumentar a capacidade instalada, bem como a instalação de difusores para a extração do caldo da cana.

Os materiais utilizados no presente trabalho de pesquisa constaram dos dados de energia adquirida, energia auto gerada, potência média gerada, cana

esmagada, consumo específico e produção de bagaço, coletados junto às duas usinas objeto de estudo, no primeiro semestre de 1998.

3.2. Energia Adquirida

A energia adquirida corresponde à parte comprada pelas usinas junto à concessionária local de energia (CPFL), expressa em kWh, ao longo do período 1990-1996 para a Usina A e 1990-1997 para a Usina B, relacionadas mês a mês, destacando-se seu comportamento durante a safra e entressafra, no que tange ao volume de energia requerido pela usina para sustentar seu sistema elétrico em operação. Fora da safra, o consumo de energia elétrica está voltado para a manutenção dos equipamentos de moagem e dos outros processos industriais inerentes às usinas de açúcar e álcool.

3.3. Energia Autogerada

A energia autogerada corresponde à energia elétrica produzida através dos turbogeradores, expressa em kWh e catalogada mês a mês. Para uma análise mais funcional, caracterizou-se a energia autogerada em três. A partir de suas características fundamentais, para uma análise mais funcional, caracterizou-se a energia autogerada em:

Total - correspondente a toda energia elétrica gerada dentro da usina;

Consumida na usina - correspondente à parte da energia gasta no acionamento de máquinas e motores;

Excedente vendida - correspondente à parte da energia não utilizada pela usina e que é fornecida à CPFL mediante contrato de venda.

Analisar esse tipo de energia autogerada representa o principal objeto de estudo do presente trabalho, visto que a produção de energia adicional em sistemas de cogeração é um fator extremamente importante dentro do estudo da administração de recursos energéticos.

3.4. Potência Média Gerada

Tendo em vista que durante a safra, as usinas trabalham com autogeração no sistema "full-time", foi considerada uma geração de 24 horas ininterruptas em 30 ou 31 dias, conforme o mês de geração.

Os valores de potência média foram expressos em kW. Embora derivados da potência total gerada, correspondem, como se poderá confirmar, num importante instrumento de análise.

3.5. Cana Esmagada

A fonte de autogeração, no que diz respeito ao combustível, é o bagaço gerado a partir do esmagamento da cana. Em função do porte da usina e de sua capacidade de esmagamento, a empresa pode dimensionar os turbogeradores e

sua capacidade de autogeração. Por outro lado, o total produzido de bagaço está de acordo com o tamanho da usina, variando de uma para outra. A cana esmagada está expressa em toneladas. Os dados foram coletados mês a mês, nos períodos 1990-1996 e 1990-1997, para as usinas A e B respectivamente.

3.6. Consumo Específico

O consumo específico também é derivado da energia autogerada em relação à tonelada de cana esmagada. As duas usinas pesquisadas observam e controlam esse parâmetro fazendo crer que a principal finalidade dessa medida corresponde a uma avaliação da eficiência energética gerada. O consumo específico está expresso em kWh/tonelada de cana esmagada (tc)

3.7. Produção de Bagaço

A produção de bagaço corresponde a uma medida derivada do total de cana esmagada. A literatura avalia em cerca de 26,5% a quantidade de bagaço resultante pós moagem. As duas usinas estudadas dispõem de registros mensais da variável em questão.

A produção de bagaço foi expressa em toneladas (t). A diferença significativa de produção entre as usinas pesquisadas, representa um dado verificável sem maiores dificuldades no decorrer do trabalho.

3.8. Metodologia Estatística

No presente trabalho a estatística descritiva permitiu analisar de forma comparativa, as inter-relações de alguns parâmetros e a análise de regressão possibilitou estabelecer o grau de dependência entre as variáveis estudadas e formulação dos modelos. A tabulação dos dados foi formulada de maneira que se pudesse apresentar os gráficos referentes às diversas variáveis em estudo, de duas maneiras:

- elaboração de gráficos que descrevessem o comportamento dos dados originais ao longo do período de estudo. Dessa forma, o eixo das ordenadas contém as respectivas safras referentes ao período;
- elaboração de gráficos com dados médios, medianos e de desvio-padrão, dos dados originais agrupados por mês para o conjunto das safras em questão. Nesse caso, a apresentação dos valores no eixo das ordenadas, é mostrada como os meses do ano e o conjunto de dados analisado como se todas as ocorrências se passassem numa só safra.

O confronto entre as variáveis favoreceu uma análise mais crítica da influência dos parâmetros, necessários ao estudo detalhado da energia adquirida, energia autogerada, potência média gerada, tonelada de cana moída, consumo específico e produção de bagaço.

Os dados de produção de açúcar e álcool não foram levados em consideração a nível de análise, porque os objetivos do presente trabalho foram os parâmetros envolvidos nos processos de cogeração.

A metodologia estatística utilizada está de acordo com as proposições de SNEDECOR & COCHRAN (1978) e HOFFMAN & VIEIRA (1977).

Devido à interdependência observada entre as variáveis coletadas, foram propostos ajustes de modelos matemáticos de forma a se obter uma descrição da tendência das curvas de produção de energia elétrica nas duas plantas industriais.

Foi efetuada uma análise estatística com os resultados obtidos, procurando ajustamento de modelos que poderiam definir o comportamento de geração das indústrias estudadas, analisando-se suas performances, com a finalidade de se avaliar a expectativa de geração adicional de energia elétrica para venda às concessionárias.

Para tal, o primeiro modelo sugerido foi o ajuste logarítmico proposto por STEVENS, W.L., muito usado para representar relações entre x e y , quando y tende a um valor assintótico limitante para valores de x tendendo ao infinito. Os resultados obtidos na análise dos dados através de pacote estatístico, encontram-se dispostos nos quadros 16 e 17 do Anexo A.

O outro ajuste realizado foi uma regressão polinomial resultando em uma função de grau 3 para descrever o comportamento da variável energia produzida em função da quantidade de cana moída. A opção por um polinômio de grau 3 se baseou nos seguintes critérios:

- Caso fosse realizado um ajuste para uma função de primeiro grau ($y=a+bx$), estaríamos supondo, mantidas as condições operacionais da indústria, que acréscimos sucessivos na quantidade de cana moída corresponderia a acréscimos sucessivos na produção de energia, o que não corresponderia a realidade;
- Se o ajuste realizado nos retornar uma função de grau 2, a parábola resultante apresentaria, após um determinado valor de x , produção de energia crescente de forma quadrática, tornando-se assim, inconsistente.
- O ajustamento de um polinômio de grau 3, nos apresenta uma função com 2 pontos de inflexão, admitindo portanto, duas assíntotas horizontais: uma quando não se tem moagem de cana ($x=0$) e outra logo após a capacidade máxima de moagem da planta industrial. O pequeno tamanho amostral faz com que o desvio-padrão da regressão seja elevado, muito embora os coeficientes de correlação e de determinação se mostrem favoráveis ao ajuste.

A Lei dos Rendimentos Decrescentes, segundo ROSSETTI (1941), está intimamente relacionada com a constância e a intensidade dos deslocamentos das curvas de possibilidades de produção. Os deslocamentos positivos são provocados pela expansão ou melhoria dos recursos disponíveis para fins produtivos. Um maior suprimento desses recursos induzirá, necessariamente, à dilatação das fronteiras de produção do sistema.

Entretanto, essa correlação direta entre o suprimento de recursos e os deslocamentos das curvas não significa, todavia, que quaisquer acréscimos na disponibilidade de um ou mais dos recursos provocarão, necessariamente, imediatos movimentos positivos nas fronteiras de produção.

Para que a expansão das possibilidades de produção realmente ocorram em escala constante, devem-se registrar suprimentos adicionais de todos os recursos de produção envolvidos. Quando o suprimento de um dos recursos não se alterar, permanecendo fixo ao longo de vários e sucessivos períodos produtivos, não ocorrerão deslocamentos constantes, mas possivelmente decrescentes. Nesse contexto, a Produtividade Marginal pode ser definida como um intervalo de produção, abaixo do qual, não é possível para uma empresa, produzir sem perder dinheiro.

De acordo com a Teoria Econômica, pode-se obter a função de Produtividade Marginal de uma função de produção calculando-se, para tal, a derivada 1ª dessa função de produção. Ainda sob essa hipótese, a produção (no caso, de energia elétrica) tenderá ao seu nível máximo de otimização, quando a Produtividade Marginal tender a zero.

4. RESULTADOS

Um exame detalhado dos parâmetros citados no capítulo 3 permitiu compilar os Quadros 1 a 15 do Anexo A, compondo uma série histórica de oito e sete anos, que representa o desempenho das usinas A e B respectivamente.

É importante atentar para a característica de sazonalidade da maioria dos parâmetros, o que requer análise criteriosa pois a componente cíclica está presente no processo de produção, em decorrência de fatores específicos tais como: potencial de moagem anual previsto, projeção de excedente de bagaço e projeção de consumo de energia elétrica.

Os resultados apresentados foram dispostos de forma homogênea, com a finalidade de permitir comparações importantes entre as usinas. É possível visualizar a amplitude dos dados e suas relações com o porte de cada uma das usinas.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO

O dados levantados junto as Usinas A e B e que serão referenciados na seqüência do texto, encontram-se nos Quadros 1 a 15, no Anexo A.

A análise compreende a verificação da sua estrutura e composição como objeto principal. Acredita-se que um estudo por um período de oito anos seja suficiente para demonstrar o perfil de desempenho de ambas as usinas.

5.1. Análise da Usina A

O dados referentes a essa usina correspondem ao período de 1990 a 1996. Observa-se que o total de cana moída nesse período esteve bem próximo da capacidade máxima nominal de moagem.

De forma, geral o período de safra ocorreu entre abril e novembro, o que é comum às usinas do Sudeste. Os Quadros 1, 6 e 7 demonstram que não houve produção de energia excedente nas safras 1990, 1995 e 1996, respectivamente.

Considerando-se que o ano de 1990 tenha sido o ano de início do projeto de geração de energia excedente, portanto o início da exportação de energia tenha começado em 1991, ocorre que em 1995 e 1996 a usina também não conseguiu gerar excedente, levando a crer que tenha havido, por parte de sua direção, o

desinteresse na produção adicional, seja pelo fator preço de venda, seja pela própria incapacidade da Usina de gerar parcela adicional de energia.

Esse desestímulo coloca em discussão a viabilidade do sistema, quando aplicado a usinas de menor porte, cujo capital e necessariamente a quantidade de investimentos, não são recompensados pela baixa remuneração do quilowatt gerado.

Na Figura 5.1, pode-se notar o comportamento da cana moída no período 1990/1996, pela Usina A.

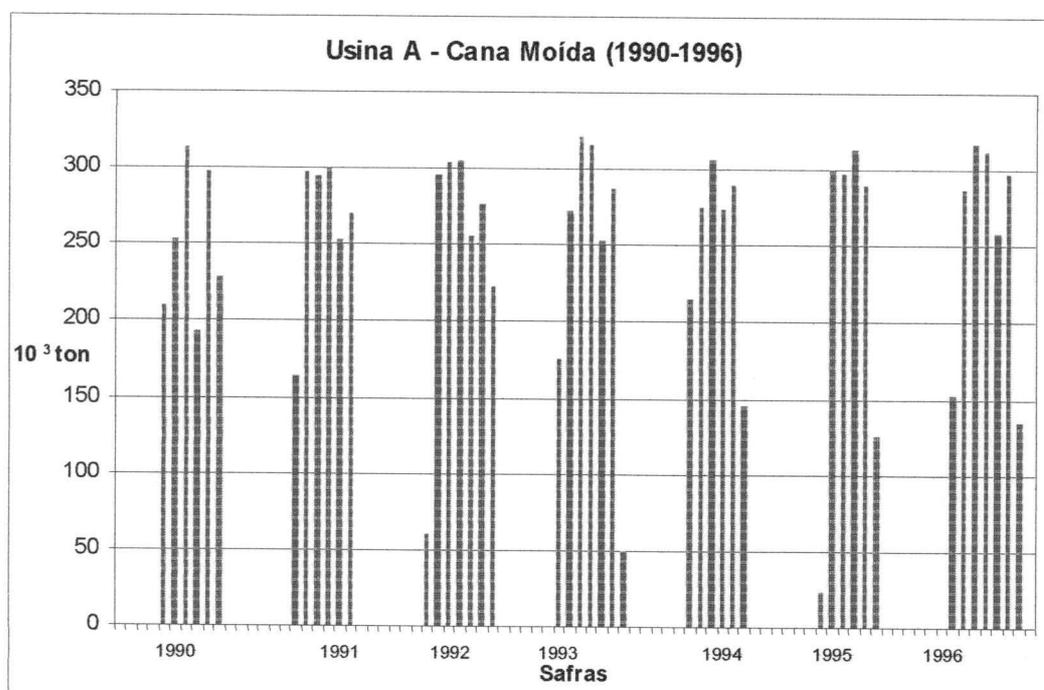


Figura 5.1 - Evolução da tonagem de cana moída pela Usina A no período 1990-1996.

Pela visualização do gráfico, observa-se que o processo industrial não sofreu modificações em todo período, pois a variável “tonagem de cana moída” se manteve estável durante todas as safras. Tal estabilidade na produção da

indústria pode ser creditada ao fato de que a usina se encontra no limite de sua capacidade de moagem, ocasionado, segundo os administradores da empresa, pela impossibilidade de expansão da lavoura canavieira na região.

Apenas no ano de 1996 ocorreu uma safra um pouco mais longa, mesmo assim não houve incremento na produção de energia elétrica.

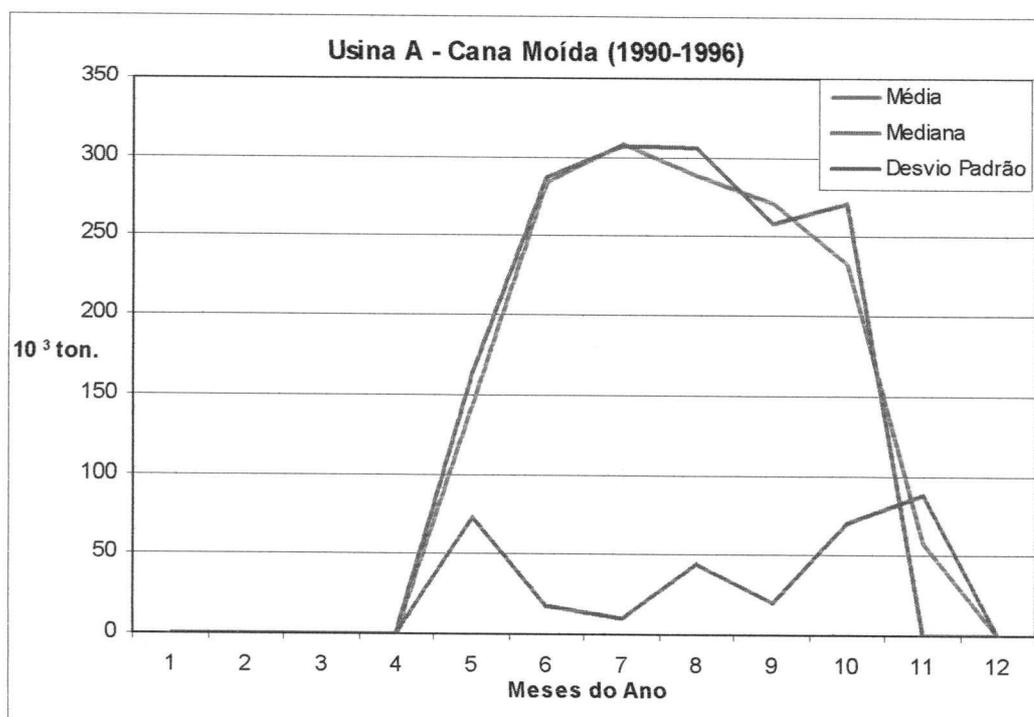


FIGURA 5.2 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Cana Moída pela Usina A no período 90/96

Sob o ponto de vista da média, a Figura 5.2 revela que nos períodos de safra a média e a mediana descrevem a mesma trajetória. Os dados mostram que no período estudado esses parâmetros foram fortemente influenciados pelos valores extremos como mostra o comportamento do desvio-padrão na mesma figura.

Em consequência do comportamento da tonelagem de cana moída descrito anteriormente, a energia total mostrou um comportamento semelhante.

Ela começa com um baixo nível de produção em 1990, tem uma tendência de aumento nos anos subsequentes, atinge um ponto de máxima em 1993 e começa a cair a partir de então, como pode ser visto na Figura 5.3.

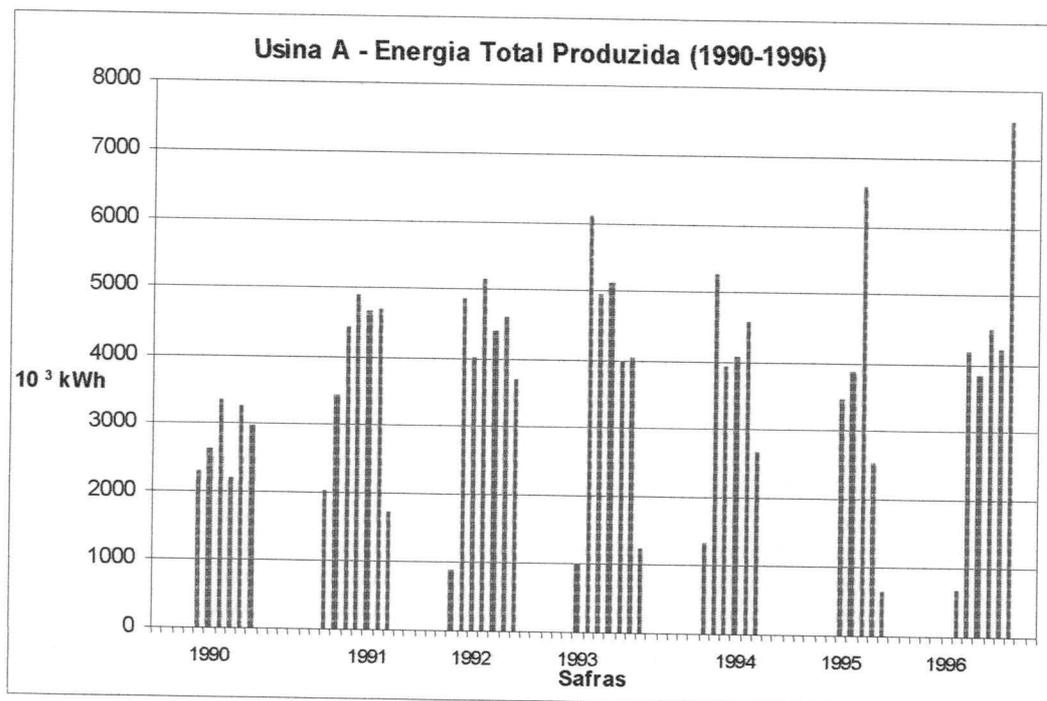


FIGURA 5.3 - Evolução da Energia Total Produzida pela Usina A no período 1990/1996.

É interessante observar que no ano de 1996, último ano da série estudada, no final da safra ocorre o maior pico de produção de energia total, muito embora nesse ano a usina tenha consumido toda a produção sem gerar excedente.

Dessa análise, é possível inferir que houve um atraso tecnológico a partir de 1993, levando a crer que a usina não se preocupou em melhorar seu desempenho, nem tampouco reservar aporte de capital para implementação de um projeto mais ambicioso na geração de energia que poderia ser vendida.

Os reflexos dessa posição poderão ser perfeitamente justificados quando da análise da produtividade marginal que será levada a efeito logo mais adiante neste trabalho.

Na análise das medidas de tendência central, média, mediana e desvio-padrão que compõe o objeto da Figura 5.4, fica evidente a discrepância apresentada pelo desvio-padrão, indicando novamente uma diferença acentuada entre os extremos da série que varia de 1 milhão de kWh/ano a 7,5 milhões de kWh/ano.

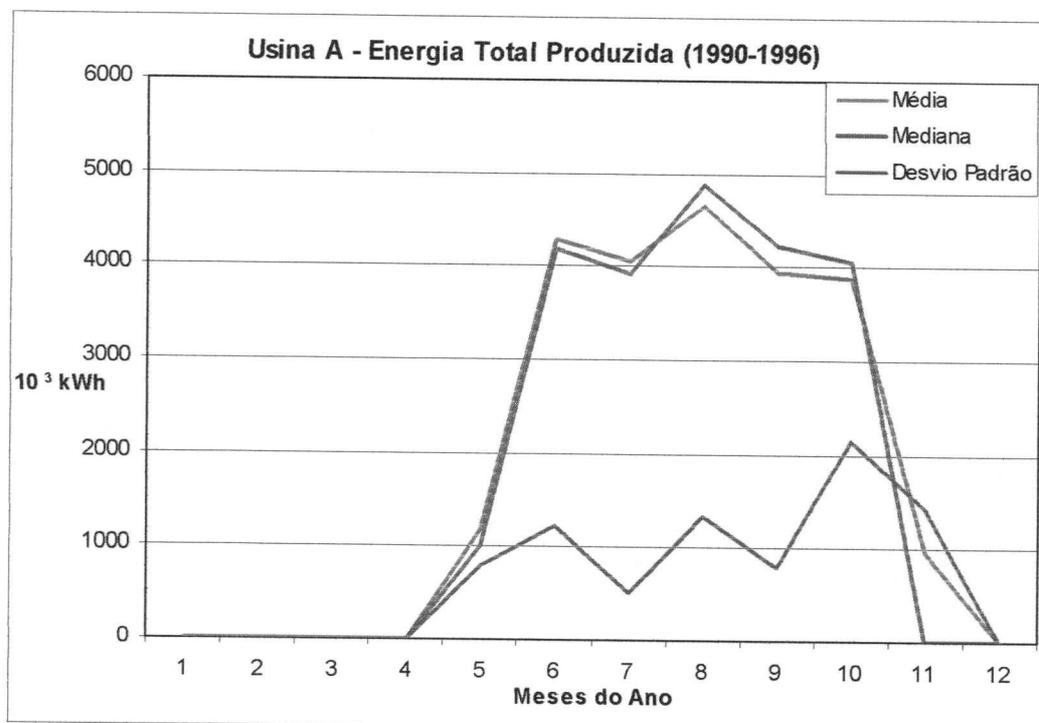


FIGURA 5.4 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Energia Total Produzida pela Usina A no período 90/96

Também nessa representação gráfica, o período de safra começa em geral no mês de maio se estendendo até o final de cada ano, sendo que a partir de novembro a geração de energia total decresce drasticamente.

Com os dados referentes aos Quadros 1 a 7, procedeu-se uma análise de regressão para ajustamento de uma função que respresentasse a ligação entre a produção total de energia e a tonelagem de cana moída, visto que estas variáveis são interdependentes. A função resultante foi uma polinomial de grau 3 descrita por:

$Y = 15280,075 - 37,425 X + 4,1.10^{-4} X^2 - 7,853.10^{-9} X^3$, com coeficiente de determinação R^2 igual a 0,850, sendo Y a energia total produzida e X o total mensal de cana moída pela usina.

Esse confronto pode ser observado pelo exame da Figura 5.5, onde a configuração da curva se mostra ascendente até a moagem de 300 mil toneladas, declinando a partir desse ponto.

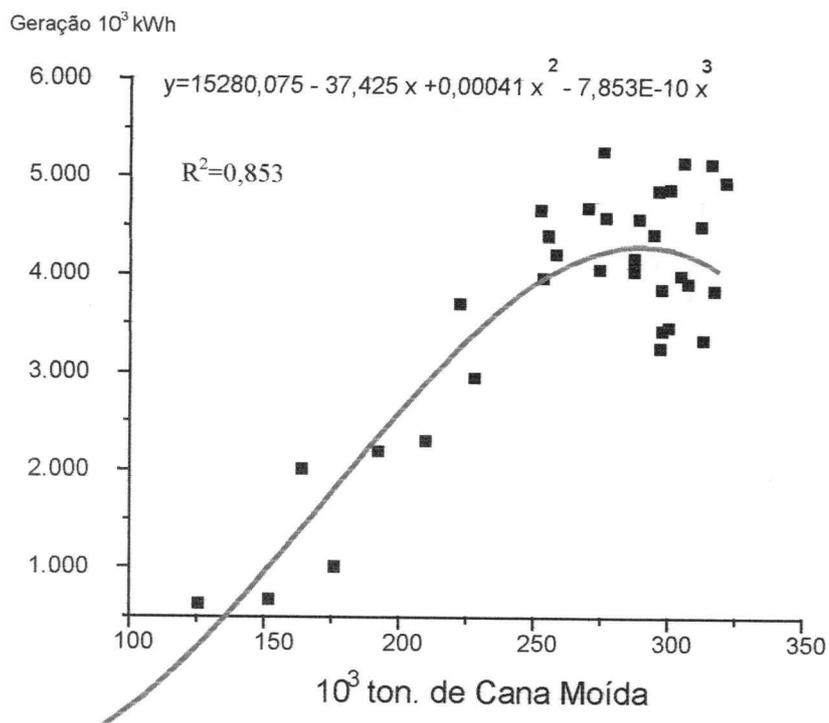


Figura 5.5 - Confronto entre Energia Total Produzida e tonelagem de cana moída pela Usina A no período 1990-1996

Como a energia total produzida é altamente dependente da tonelagem de cana moída, e descartadas alterações na planta industrial, a obtenção de incrementos na produção de energia elétrica só seria possível caso houvesse a possibilidade de redução do teor de umidade do bagaço, resultando com isso uma melhora no seu poder calorífico, alternativa descartada pelos proprietários da usina por considerar o processo de secagem muito oneroso.

Verifica-se também que a capacidade de geração, estando próxima da capacidade nominal dos turbogeradores e provavelmente pelo aumento do consumo interno, a produção de energia excedente ficou prejudicada.

Na Figura 5.6 é possível verificar uma diferença entre a média e a mediana, fruto das inconstâncias dos valores ao longo do período. Porém, neste caso, o desvio-padrão acompanha a trajetória das curvas anteriores, indicando grande variabilidade entre os valores extremos.

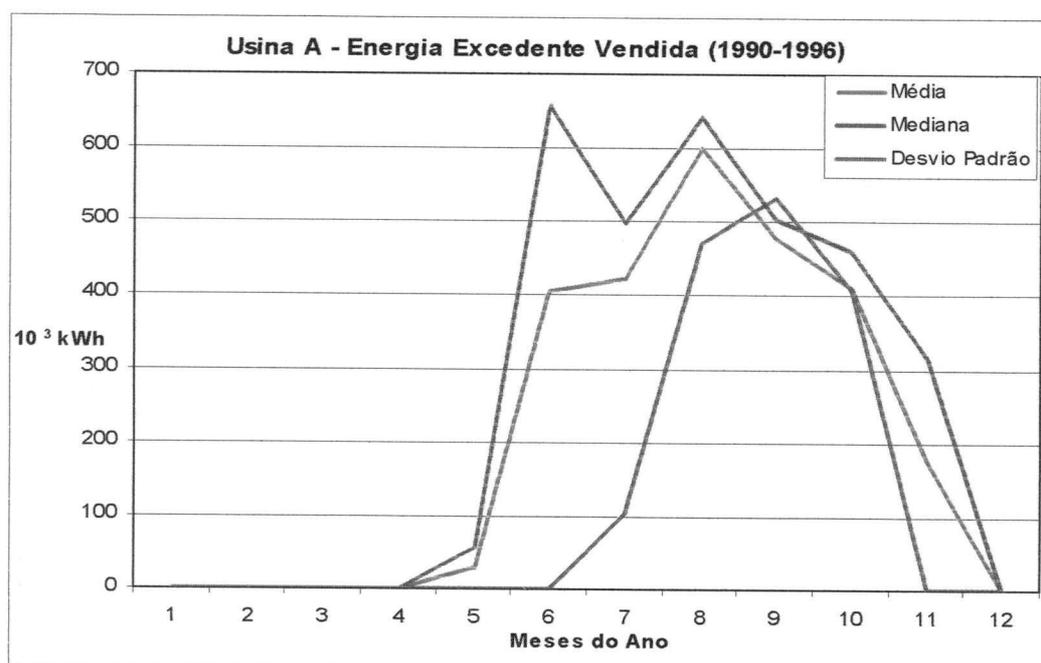


FIGURA 5.6 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Energia Excedente Vendida pela Usina A no período 90/96

Parte da energia total produzida é consumida na usina e, no caso da Usina A, fica claro o aumento do consumo interno nas safras de 1995 e 1996.

Não é possível, neste trabalho, detectar as razões do incremento do consumo, mas suas consequências são sentidas na retração da oferta de energia excedente, tendo sido o ano de 1994 o último ano que a empresa exportou energia ao sistema de distribuição da concessionária.

Na Figura 5.7 observa-se que o consumo de energia interna também tem a sua sazonalidade que corresponde, naturalmente, ao período da safra. Vê-se nessa figura que a média e a mediana estão relativamente próximas, com pequenas alterações nos picos dos meses de agosto e setembro.

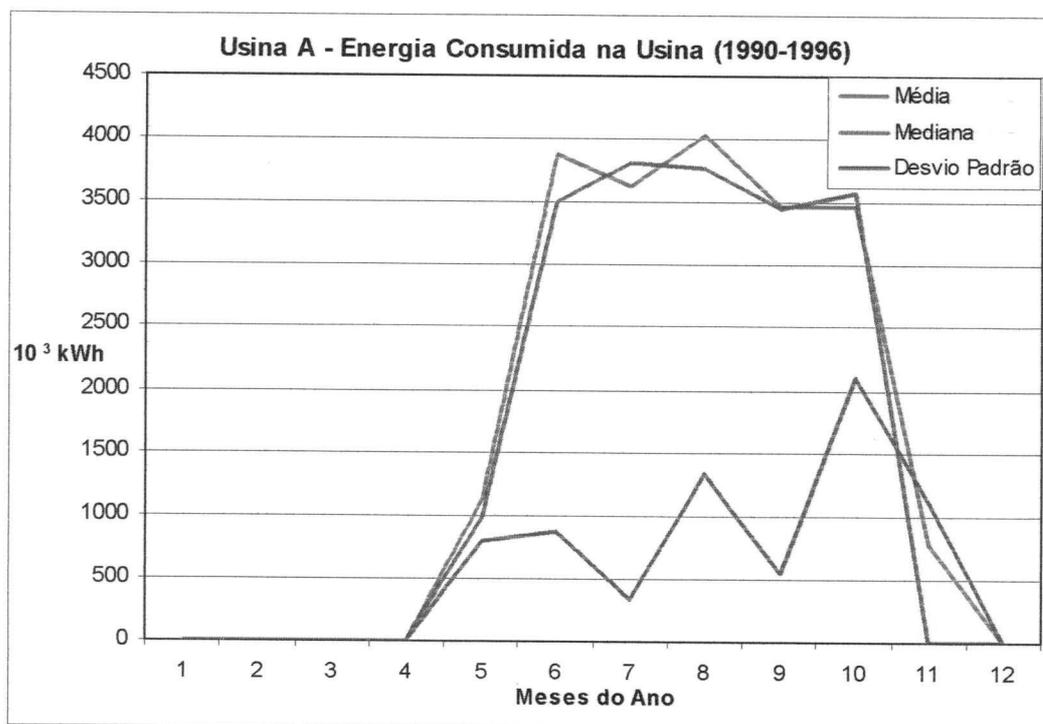


FIGURA 5.7 - Comportamento da Média, Mediana e desvio Padrão da Energia Consumida pela Usina A no período 90/96

Nessa figura também podemos visualizar uma variabilidade significativa no comportamento do desvio-padrão, indicando a influência, também aqui, dos valores extremos.

É possível inferir que a empresa não se preocupou com programas de racionalização e conservação de energia, podendo se supor por a ocorrência de deseconomias de escala no período, resultando em um maior consumo de energia elétrica. Em contrapartida, a queda na produção total de energia está determinada não só pela limitação da capacidade de geração dos turbo-geradores, como também pela da diminuição do fornecimento do bagaço.

5.1.1. Potência Média Gerada na Usina A

A potência média gerada é um importante parâmetro nessa análise, pois ele corresponde a energia firme no período.

Analisando-se os Quadros 1 a 7 (Anexo 1), observa-se que o ano de 1990 apresentou uma potência média gerada baixa em relação aos anos subsequentes, visto que naquela época a produção de limitava a atender as necessidades próprias da usina.

Na Figura 5.8 podemos verificar que no ano de 1995, ocorreu o maior pico e a menor amplitude de geração, ou seja, a potência média experimentou um período de geração mais curto.

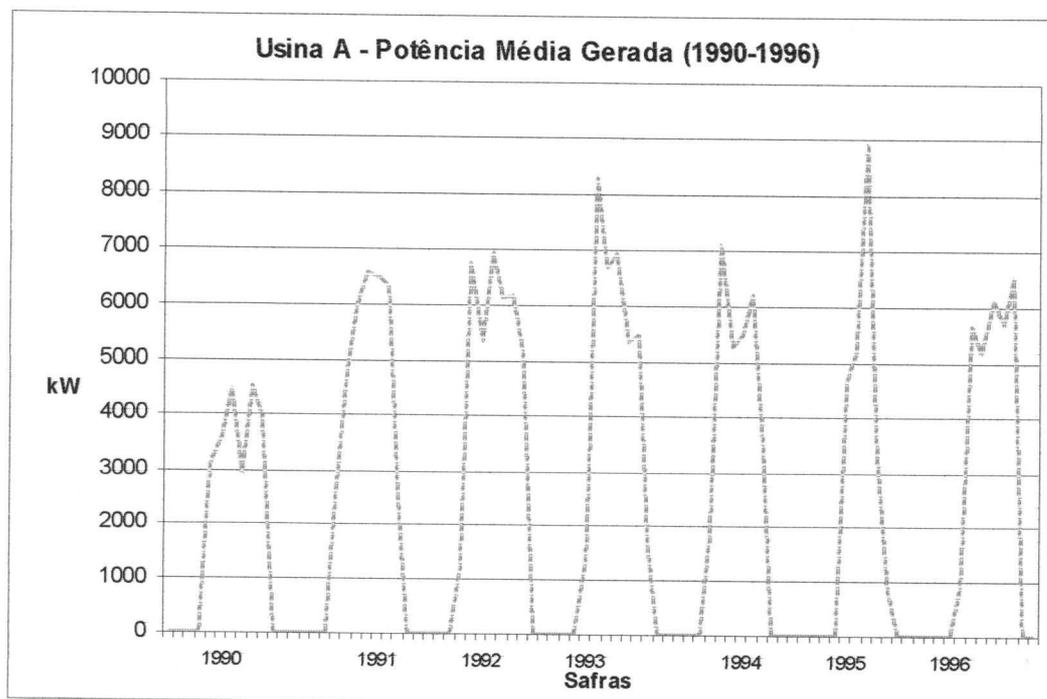


FIGURA 5.8 - Comportamento da potência média gerada pela Usina A no período 1990-1996.

Em contraste a essa análise observa-se, na Figura 5.9, uma compra de energia externa maior nos períodos de janeiro a junho.

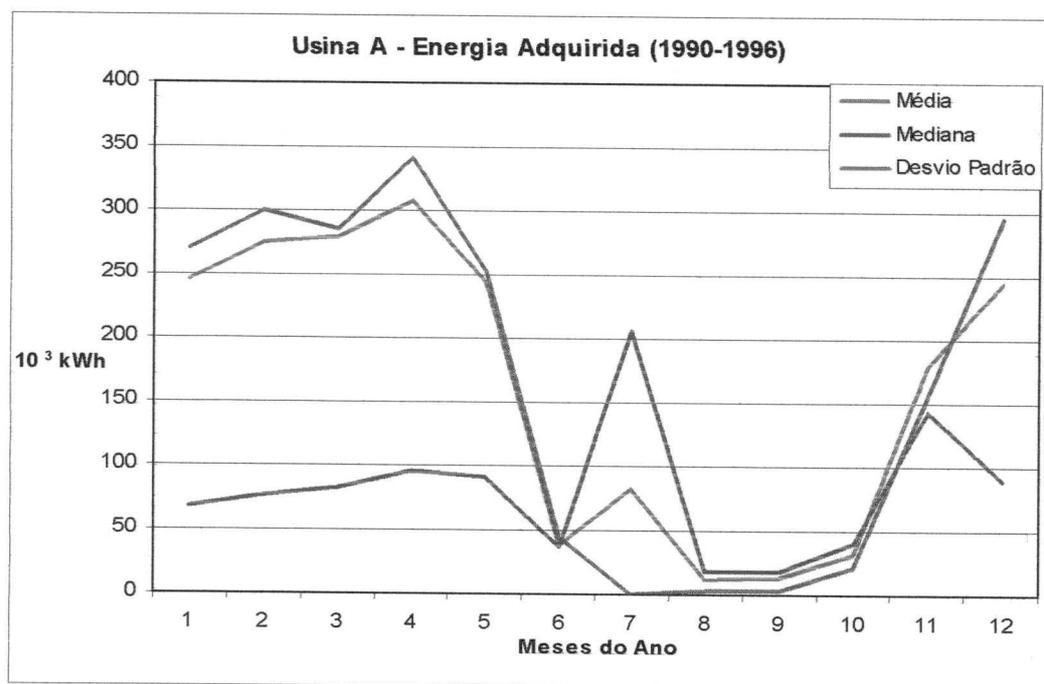


FIGURA 5.9 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Energia Adquirida pela Usina A no período 90/96

Essa energia adquirida pode ter sido usada inclusive no processo industrial. Tratando-se de um insumo muito mais caro que o gerado na própria indústria, pode-se atribuir a esse fato as deseconomias de escala citadas anteriormente.

Como a política de preços do governo, no que diz respeito ao açúcar e álcool, norteia-se por uma rigidez de preço, a usina deve ter, nesse período, acumulado algum prejuízo.

Agravado pela impossibilidade de aumentar a exportação de energia a usina se ressentiu de uma equivalência de preço (kWh vendido versus kWh comprado) mais justa, absorvendo um saldo negativo nessa troca.

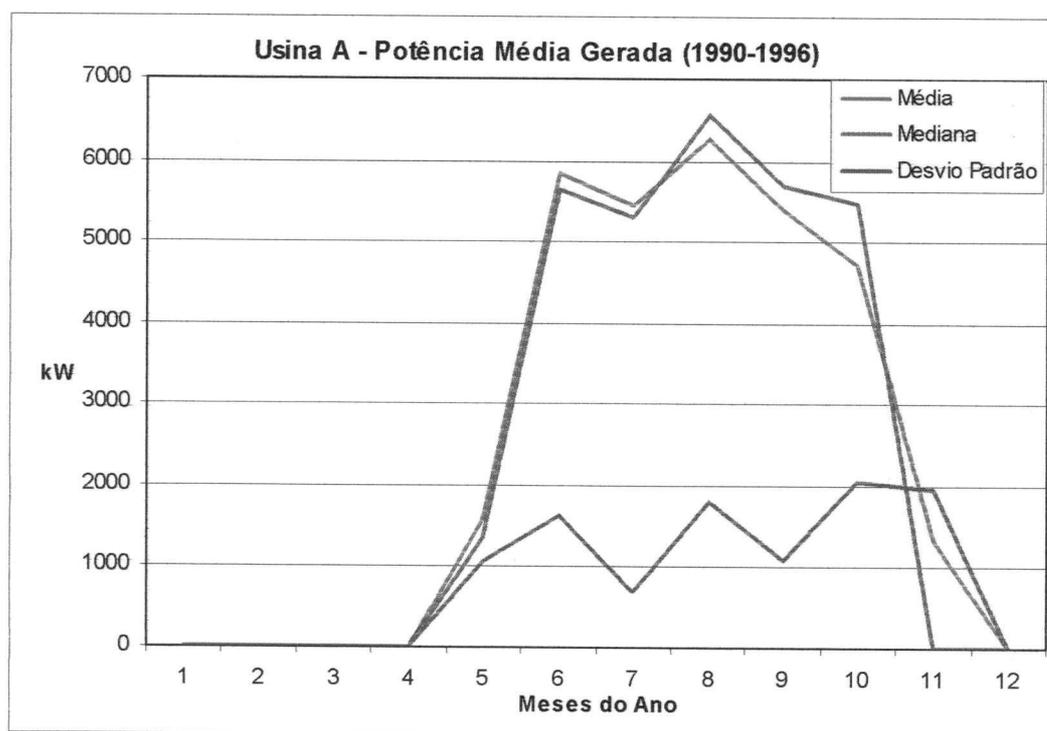


FIGURA 5.10 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Potência Média Gerada pela Usina A no período 90/96

Se considerarmos o que nos apresentam as Figura 5.8 e 5.10 podemos verificar que as mesmas tem comportamentos totalmente diferentes das Figuras 5.21 e 5.22, que correspondem à mesma análise, porém referente aos dados da Usina B.

Também nesse particular a Usina A assume características próprias, resultantes do seu processo industrial e agrícola, numa realidade diferente da outra usina estudada.

5.1.2. Análise do Consumo Específico da Usina A

O consumo específico é um parâmetro muito utilizado pelas indústrias de processamento de cana como fator de produtividade.

Ele exprime uma relação íntima entre a quantidade de cana moída e o total de energia gerada, sendo portanto um indicador de performance.

No Hawaii e na Ilha de Reunion esses coeficientes chegam a valores quatro vezes maiores que os obtidos por indústrias nacionais e no caso da Usina A essa diferença chega a ser ainda maior.

Numa análise mais simplista pode-se dizer que a Usina A está abaixo das especificações propostas por KINOSHITA (1991), quando compara o desempenho de algumas centrais de cogeração nos Estados Unidos, onde o clima e outros fatores importantes impedem uma produção de fibra comparável à brasileira no cultivo da cana-de-açúcar.

Esse parâmetro poderia ser comparado às condições de produção ideal da cana como a produzida, por exemplo, em Cuba, por exemplo, porém nesse país os processos de produção de açúcar bem como o de álcool são obsoletos e as indústrias cubanas não empregam sistemas de cogeração

A Figura 5.11 nos proporciona uma visão mais ampla do comportamento desse parâmetro. O ano de 1993 corresponde à melhor ocorrência de melhor consumo específico dentre as safras estudadas.

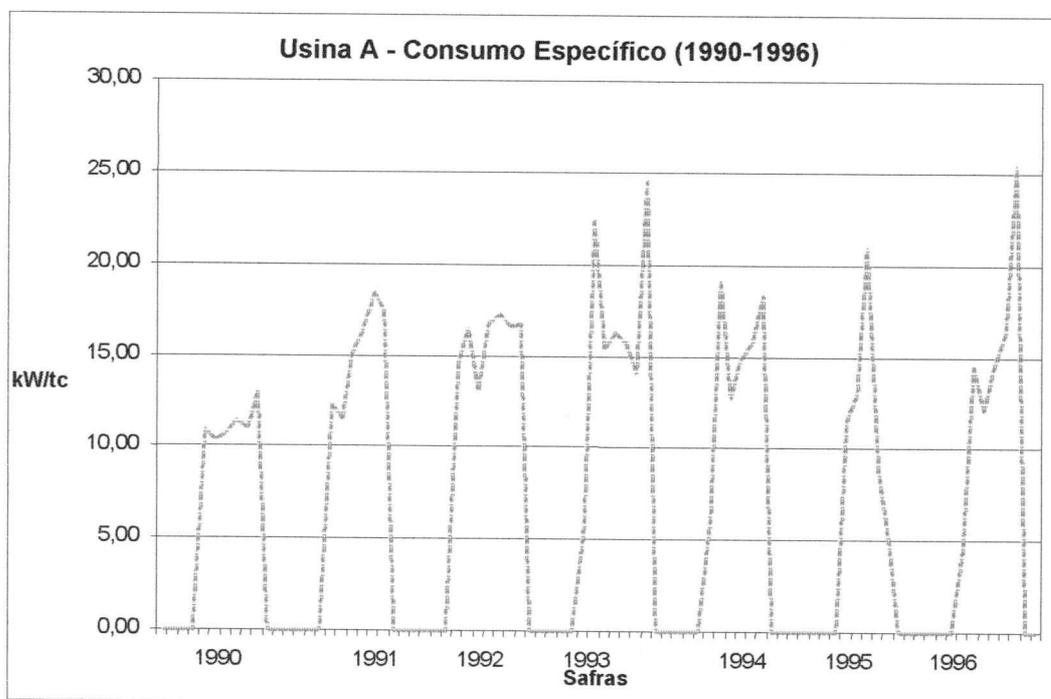


FIGURA 5.11 - Consumo Específico da Usina A no período 1990-1996

Num quadro mais geral o gráfico revela uma descontinuidade dessa medida de performance. Ora visualiza-se uma certa homogeneidade como os anos de 90 e 92, ora uma grande variabilidade como nos anos de 93,95 e 96.

Se não é possível manter uma relação adequada entre a tonagem de cana moída e a produção de energia, fica também difícil uma exportação de

excedente em energia firme, causando desinteresse por parte dos compradores dessa energia.

5.2. Análise da Usina B

Verificando-se a Figura 5.12 nota-se o incremento da tonelagem de cana moída no período de 1990/97. Houve um crescimento significativo nesse período devido, em grande parte, por investimentos realizados no início da década de 90, tais como eficiência no sistema de transporte e melhorias na extração de caldo.

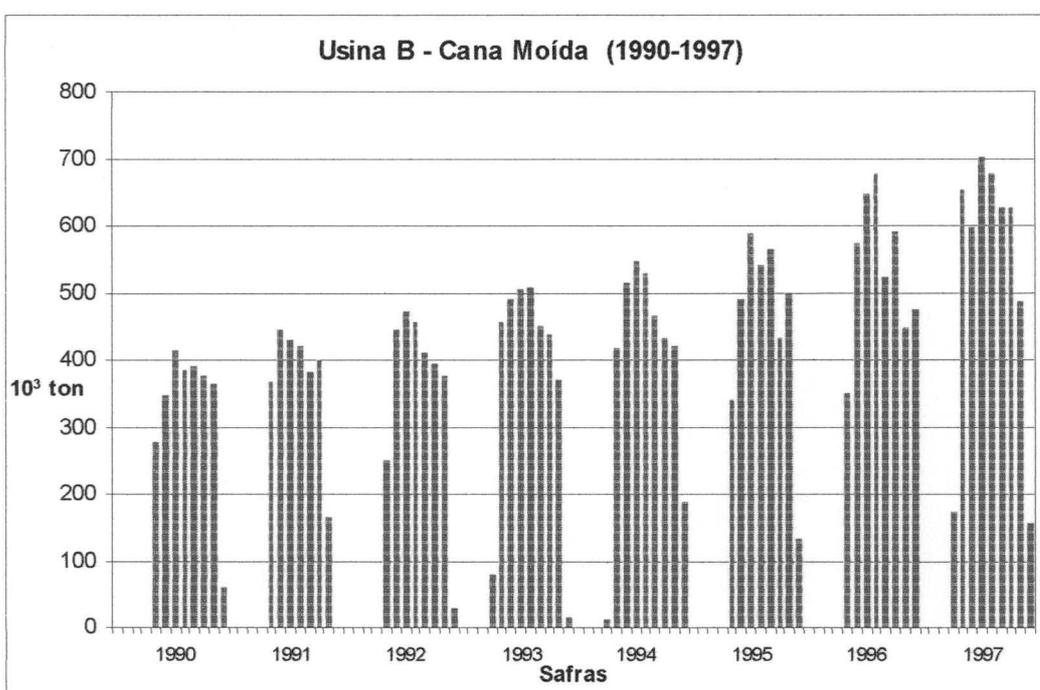


FIGURA 5.12 - Evolução da tonelagem de cana moída pela Usina B no período 1990/1997.

Pelo exame da Figura 5.12, observa-se que a usina vem mantendo regularidade no processo industrial, o que pode ser comprovado pelo aumento

gradual da produção, que poderá se estender até sua capacidade total de moagem. Esse aumento gradual permite, como se verá adiante, um aumento também na produção de energia autogerada, fazendo com que a mesma apresente variação de produção durante as últimas safras.

A Usina B destaca-se como de safra longa talvez pela sua maior mobilidade industrial, além da mesma se preocupar com o desenvolvimento da produção agrícola utilizando variedades que permitam o prolongamento da safra, sem perda de sacarose e que ainda forneçam razoável quantidade de fibras.

Esse procedimento revela-se de fundamental importância num processo de produção de energia adicional em sistemas de cogeração. Tal atitude representa, para as concessionárias, uma garantia de fornecimento durante as épocas de grande requisição de energia elétrica, devido ao déficit hídrico já comentado anteriormente.

Na Figura 5.13, o comportamento das médias, medianas e desvio padrão podem ser observadas.

As medidas de tendência central apresentam uma homogeneidade nos meses de safra, como seria o esperado, sendo o ponto de máxima moagem no período compreendido entre os meses de junho e agosto.

Essa época do ano se caracteriza por uma movimentação intensa na indústria ou seja, ela opera com sua capacidade ociosa no ponto de mínima.

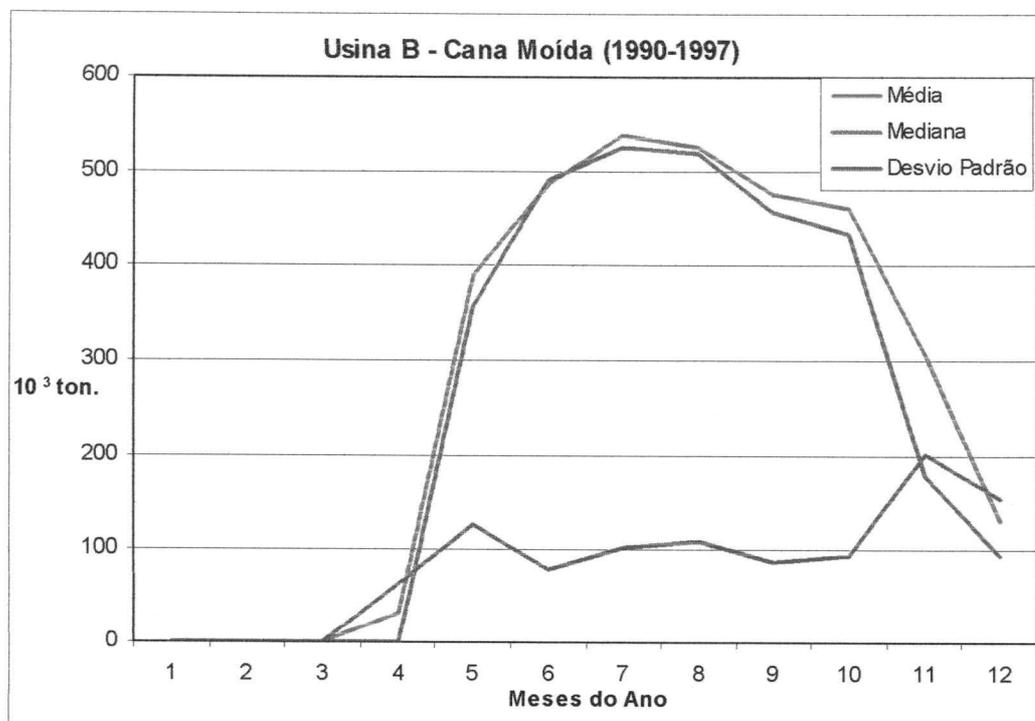


FIGURA 5.13 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Cana Moída pela Usina B no período 90/97

O mesmo comportamento na análise descritiva se repete na produção de bagaço, que é resultante exclusivamente do processo de moagem. As medidas de tendência central tem comportamento semelhantes e, se não ocorrerem perdas no sistema os resultados tendem a uma convergência, como mostra o gráfico da Figura 5.14.

Dada a homogeneidade desses dois parâmetros, o desvio padrão é relativamente menor, indicando dessa maneira a homogeneidade acima descrita.

A Usina B operou grandes investimentos no início da década de 90 com o propósito de gerar energia adicional durante a safra. Essa providência incluiu novas caldeiras e turbinas de contrapressão. Como decorrência, já no primeiro ano de instalação desses novos equipamentos, aumentou o rendimento geral da indústria.

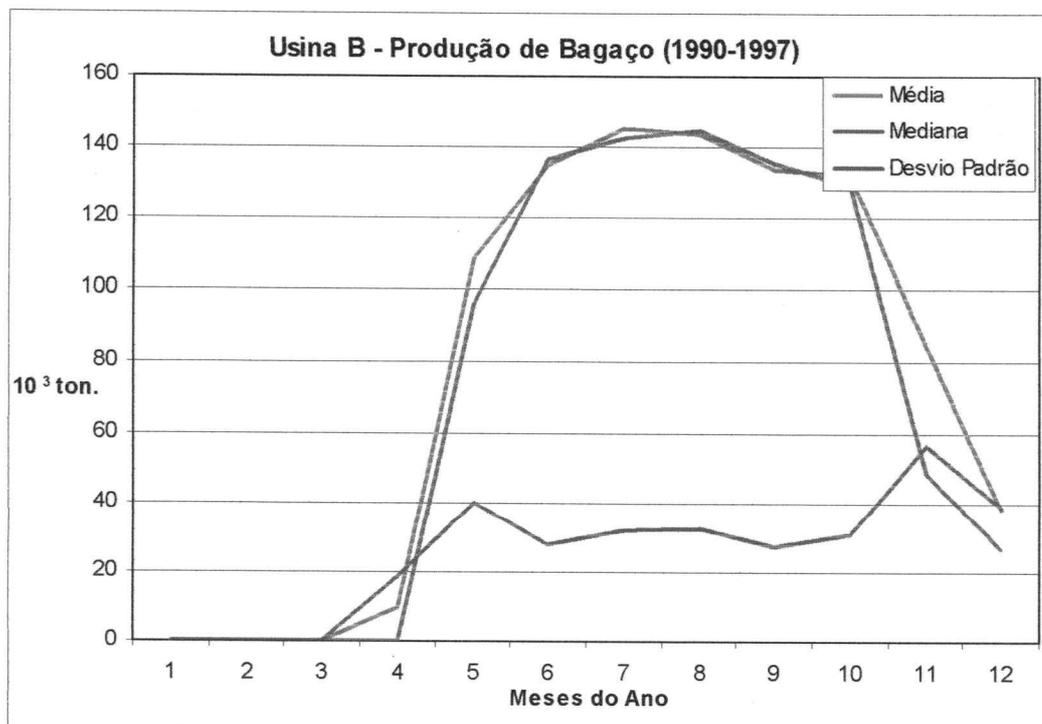


FIGURA 5.14 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Produção de Bagaço pela Usina B no período 90/97.

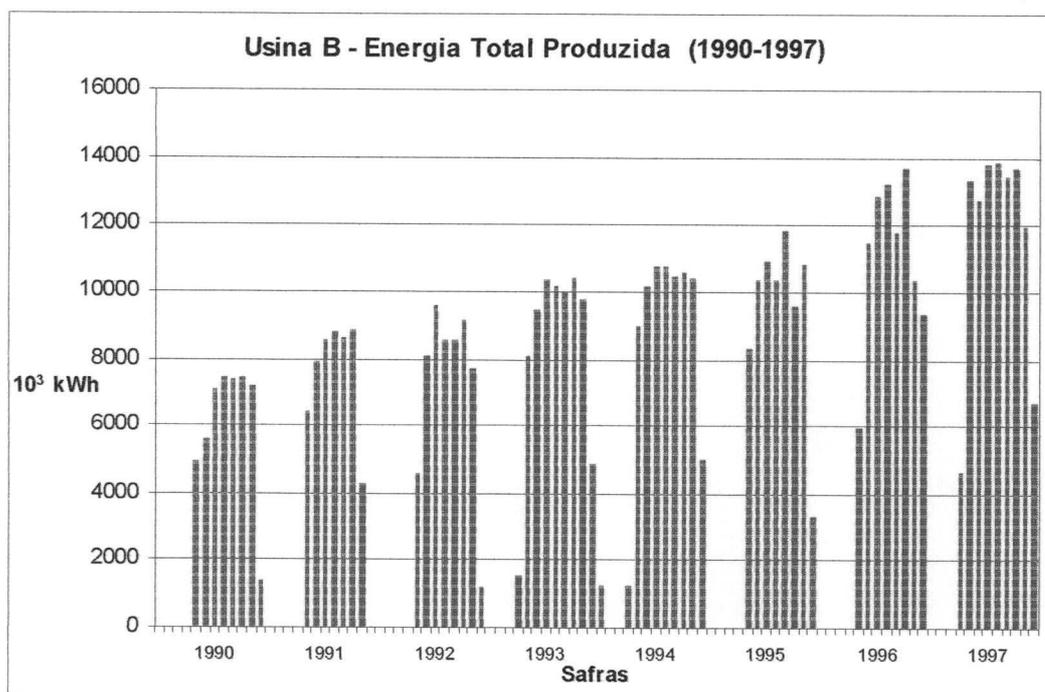


FIGURA 5.15 - Evolução da Energia Total Produzida pela Usina B no período 1990/1997.

Os resultados desses investimentos proporcionaram um substancial aumento na produção de energia total autogerada, o que pode ser comprovado na Figura 5.15.

É importante verificar que apenas nos dois primeiros meses da safra de 1990 não houve possibilidade de geração de excedente. A partir desse ano os incrementos de energia adicional foram crescentes e o nível de energia autogerada, consumida dentro da usina, permaneceu estável durante todo o período estudado, como pode ser verificado pela análise dos Quadros 8 a 15.

A Usina B passou de uma geração de energia excedente em 1990 de cerca de 2,6 milhões de quilowatt/hora, para 28,8 milhões de quilowatt/hora em 1997, representando um crescimento da ordem de 1.007,7% em sete anos.

A Figura 5.15 ilustra o total de energia autogerada pela Usina B no período. Fica evidente uma evolução harmoniosa do crescimento da produção de energia elétrica, provavelmente calcada no planejamento energético de médio prazo formulado pela administração da empresa, objetivando escalonar o retorno do investimento nas próximas safras.

Esse procedimento denota um alto grau de profissionalismo administrativo e uma perfeita interação entre o desenvolvimento agrícola e o desenvolvimento industrial da empresa.

A partir de análise econômica mais apurada é possível detectar um plano racional de economias de escala entre a unidade de produção de vapor e o conjunto gerador. A utilização de turbinas de contrapressão e múltiplos estágios são também fatores que contribuem para a melhora no desempenho da usina.

Essas prerrogativas, analisadas sob o ponto de vista administrativo, constituem a principal fonte tanto de incremento e expansão da produção quanto de elevação da produtividade do seu sistema de cogeração.

A otimização do processo como um todo provoca respostas imediatas na produção de energia, não só em termos quantitativos, mas também na arrecadação de divisas adicionais que, invariavelmente, resultam em custos menores na produção de açúcar e álcool, obviamente aumentando a margem de lucro da empresa.

Com os dados apresentados nos Quadros 8 a 15 do Anexo 1, procedeu-se a uma análise de regressão com a finalidade de se verificar a interdependência entre o total de cana moída em toneladas mês a mês e a energia autogerada em milhões de quilowatt/hora, resultando na função:

$$Y = 880074,01 + 14,18 X + 1,719 \cdot 10^{-5} X^2 - 1,498 \cdot 10^{-11} X^3$$
, com característica polinomial com coeficiente de determinação R^2 de 0,901 onde Y representa o total da energia produzida e X o total mensal de cana moída pela usina, como pode ser visto na Figura 5.16.

Um dos principais parâmetros utilizados na análise do sistema de cogeração é a energia total produzida. Desse total depende todo o processo industrial e também a performance da empresa.

Uma grande parte da energia produzida é consumida dentro da própria indústria e uma parcela é vendida.

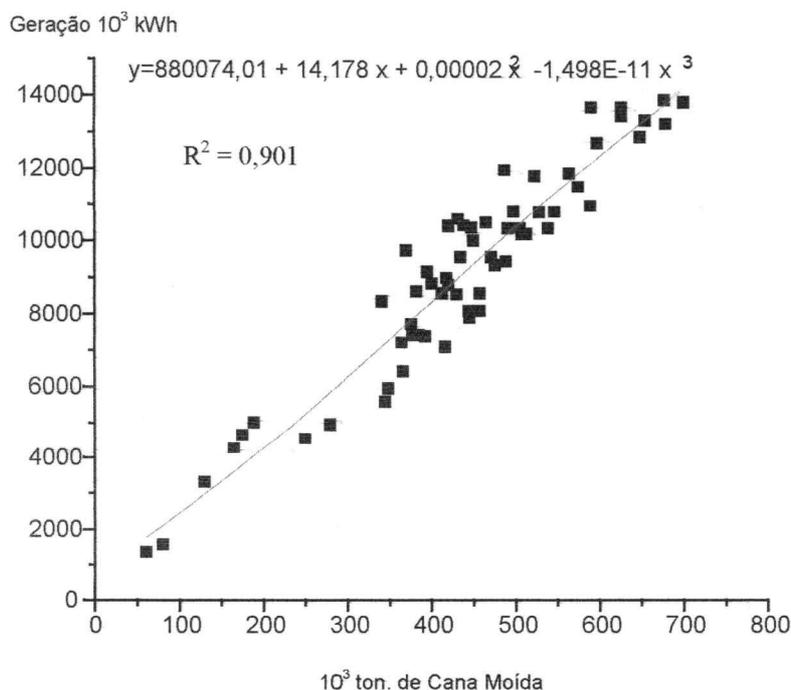


FIGURA 5.16 - Confronto entre Energia Total Produzida e tonagem de cana moída pela Usina B no período 1990/1997.

Se toda a energia elétrica consumida na usina durante o ano fosse fornecida exclusivamente pelas companhias concessionárias, praticamente tornaria inviáveis essas indústrias, dado ao preço relativamente baixo do açúcar e aos consideráveis preços do kWh, com o agravante de que os países importadores fazem, internamente, constantes campanhas de diminuição do consumo de açúcar e os exportadores enfrentam acirrada concorrência no fornecimento.

Com base nesses argumentos, o açúcar, produto importante de nossa pauta de exportações, experimenta os menores preços dos últimos 30 anos.

Por outro lado, o incentivo à produção de álcool hidratado vem sucessivamente sofrendo com a redução dessa política, ora pela diminuição da

produção de carros à álcool pelas montadoras, ora por falta de financiamento por parte do governo.

Mesmo o programa de adição de álcool anidro à gasolina sofreu um certo impacto, mais por descaso do governo que interesse dos usuários.

Considerando-se a validade das medidas de tendência central, podemos verificar, na Figura 5.17, o comportamento da energia total produzida. Ela segue o mesmo direcionamento da moagem e da produção de bagaço, indicando que esses parâmetros são interdependentes. Observa-se nessa figura que é possível se ter energia firme a partir de meados dos meses de maio até o final da safra.

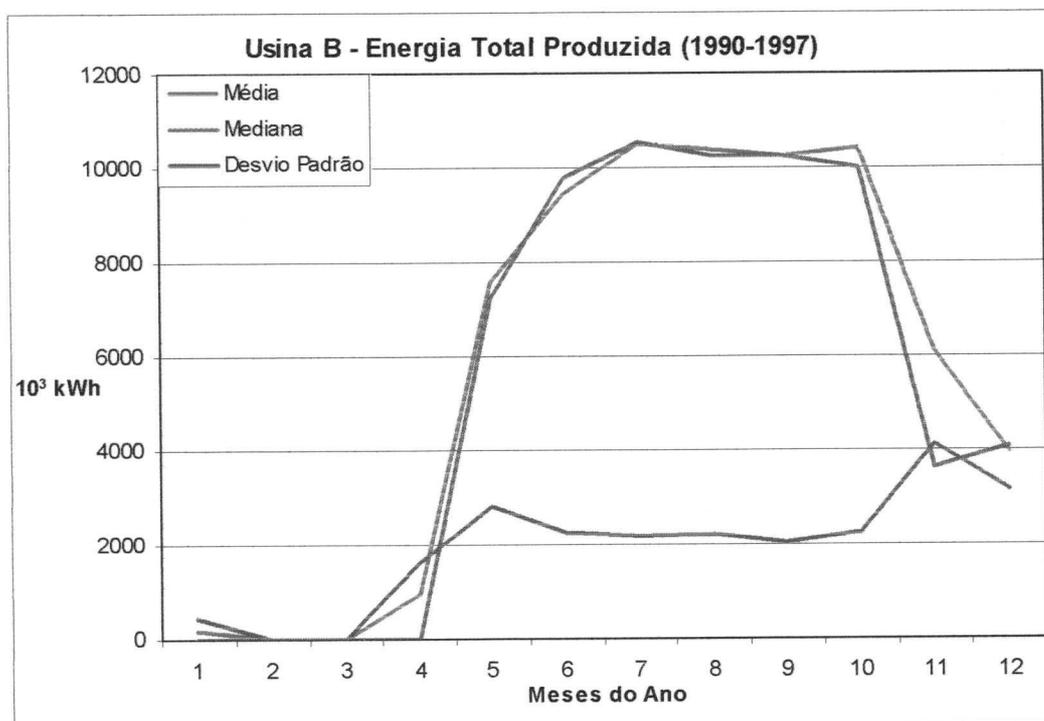


FIGURA 5.17- Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Energia Total Produzida pela Usina B no período 90/97

As concessionárias compradoras dessa energia programam seus investimentos prevendo o fornecimento regular, por isso a importância dessa

produção garantida. De um lado, a usina B supre o consumo interno evitando maior aquisição junto à concessionária e, por outro, fornece energia excedente.

Esse procedimento pode ser verificado através da visualização da Figura 5.18, onde, comparativamente, a sobra de energia acompanha, na média, a produção total. Assim, a energia excedente também pode ser considerada firme no período de junho a novembro.

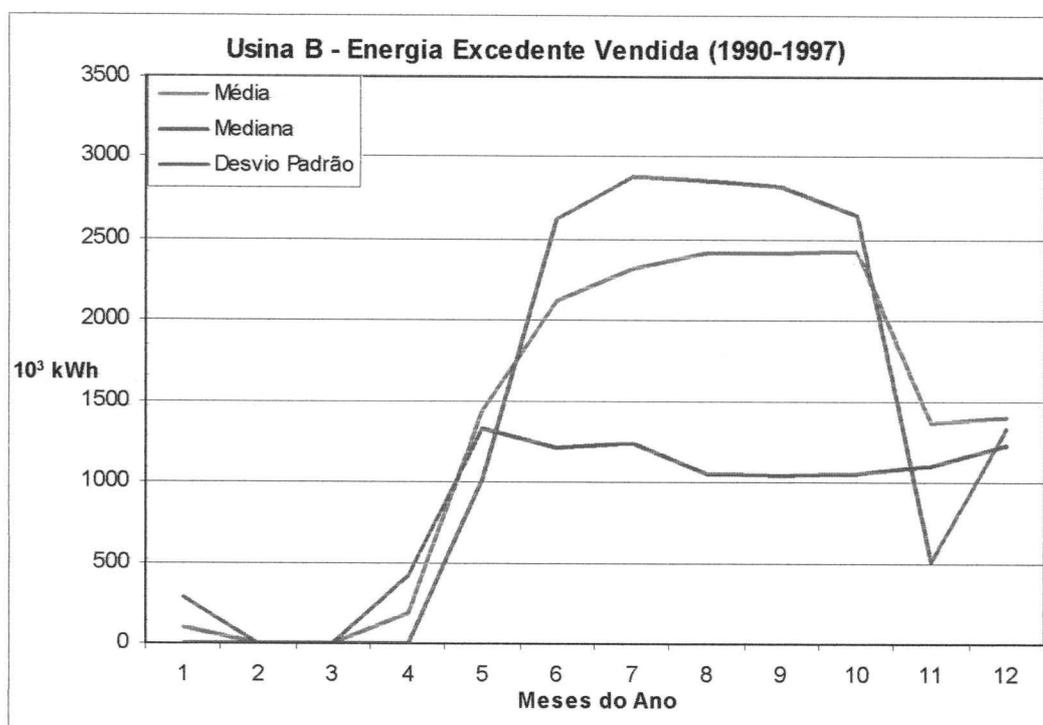


FIGURA 5.18 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Energia Excedente Vendida pela Usina B no período 90/97

O mesmo fenômeno pode ser observado na Figura 5.19, que reporta os dados correspondente à energia consumida na usina.

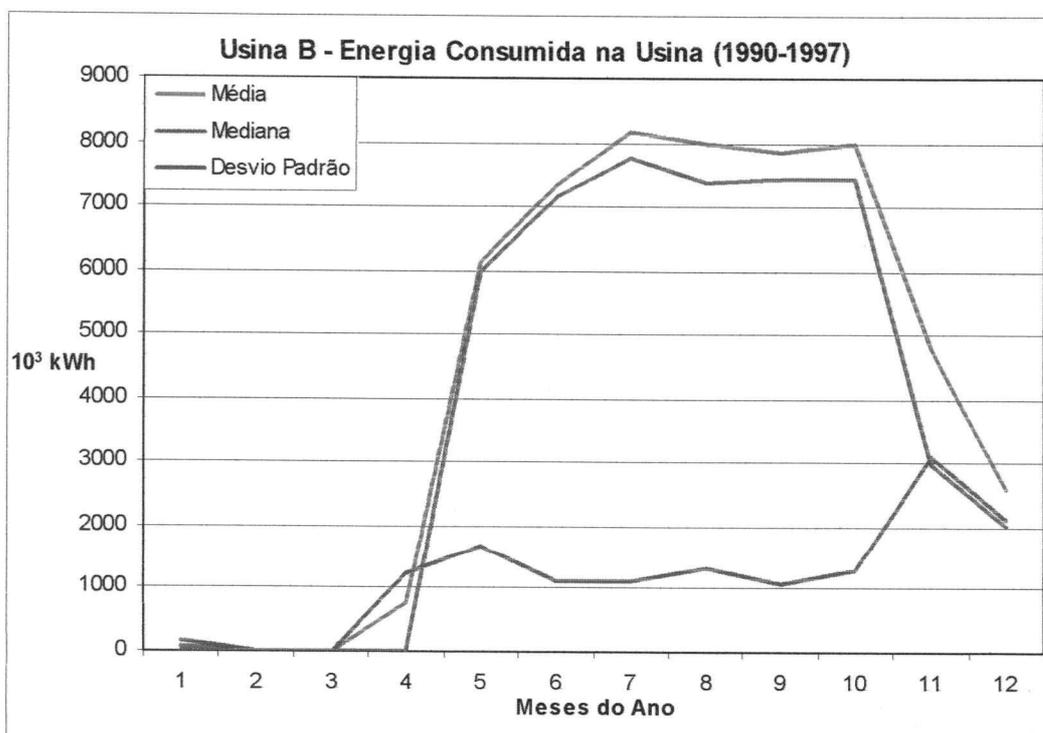


FIGURA 5.19 - Comportamento da Média, Mediana e desvio Padrão da Energia Consumida pela Usina B no período 90/97

Esses três parâmetros descritos apresentam a mesma configuração. No caso da energia consumida internamente é preciso levar em conta a sua sazonalidade, visto que o consumo fora da safra é relativamente reduzido ou seja, somente para utilização em caráter administrativo, manutenção dos serviços e reparos anuais.

A sazonalidade referida anteriormente pode ser comprovada pela análise da Figura 5.20, na qual o conjunto de valores descreve um caminho inverso às três variáveis já estudadas.

A importação de energia externa, aqui denominada Energia Adquirida, tem seu pico no período de janeiro a abril e após o término da safra no mês de dezembro.

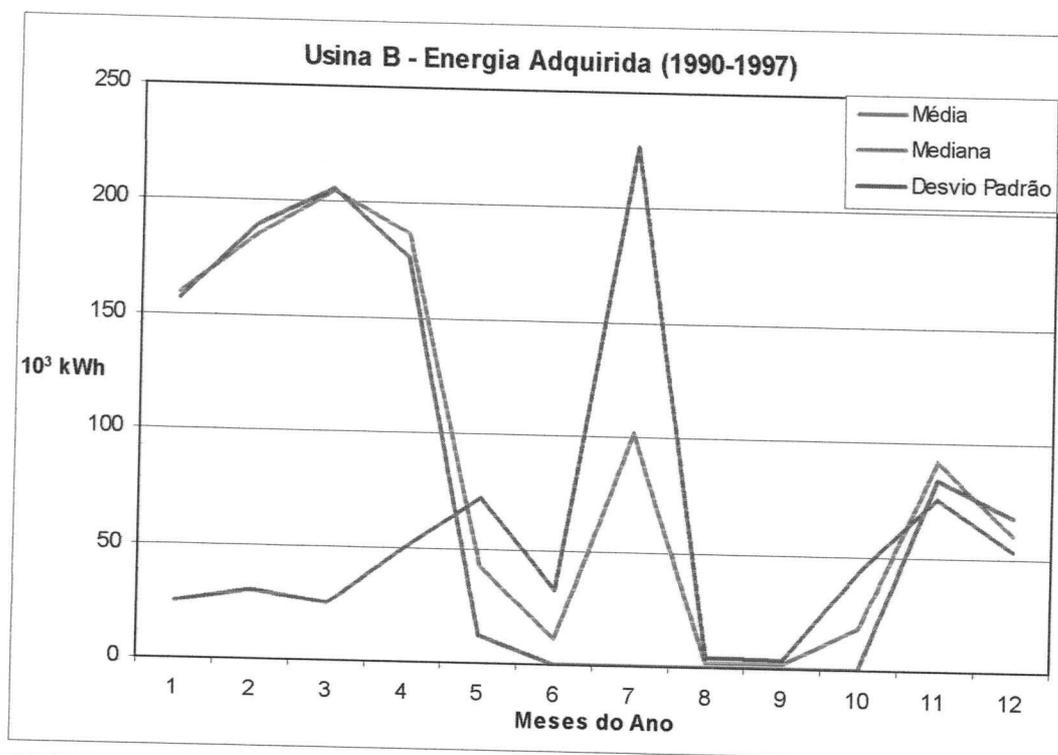


FIGURA 5.20 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Energia Adquirida pela Usina B no período 90/97

Nota-se, na análise da Figura 5.20, que o desvio padrão no período compreendido entre junho e agosto, apresenta uma maior discrepância, resultado da compra de quantidades expressivas de energia no mês de julho nos anos de 1991 (640.000 kWh) e 1992 (180.000 kWh).

Essas aquisições de energia em plena safra, distorcem os valores da média do conjunto, fazendo com que o desvio-padrão represente tal fato de forma clara. Porém, a presença de valores elevados de energia adquirida durante a safra não é freqüente o suficiente para causar uma alteração no comportamento da mediana do conjunto.

5.2.1. Potência Média Gerada

A potência média gerada também foi objeto de estudo na análise da Usina B. Vale lembrar que ao longo das safras o comportamento desse parâmetro se assemelha ao comportamento da produção de energia autogerada.

Na Figura 5.21, pode-se visualizar o crescimento da potência média gerada ao longo do período estudado. A representação gráfica sugere um ordenamento crescente para o período estudado.

O ponto máximo localiza-se quase no final da série nos anos de 1996 e 1997.

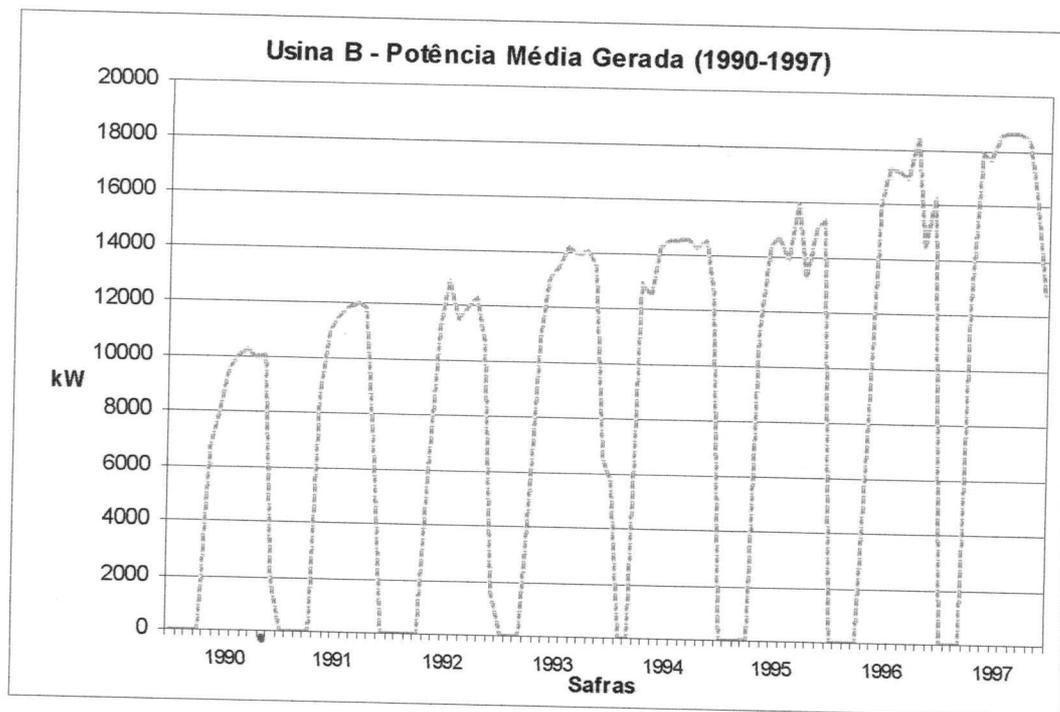


FIGURA 5.21 - Comportamento da potência média gerada pela Usina B no período 1990/1997.

Ao final de cada safra, observou-se uma sensível queda na potência média gerada, sempre no mês de dezembro. Mesmo assim corresponde a uma

produção de energia em uma época em que as demais usinas já haviam encerrado as suas safras.

Pelo exame dos Quadros 8 a 15 do Anexo 1, verifica-se que existe uma uniformidade na distribuição da amplitude dos valores de potência média gerada durante todas as safras, com exceção ao que já se referenciou anteriormente ao final da safra. Nessas condições, são maiores as possibilidades de produção de energia firme por todo o período, se os equipamentos que determinam o consumo interno da usina também permanecerem estáveis, resultando um aumento da produção de energia excedente.

A configuração do ajustamento, embora uma função polinomial, sugere que, até o limite da capacidade de produção de bagaço, a tendência se assemelha a uma curva logística, com características de se tornar assintótica, a partir do limite supracitado por incapacidade das turbinas gerarem além de sua potência nominal.

Ao observarmos a Figura 5.22, verificamos que o comportamento é o mesmo ou seja, valores elevados das médias e medianas nos períodos de safra com pontos de máxima nos meses de julho a novembro. Porém, a curva que caracteriza o desvio padrão mantém ligeira discrepância em relação às outras medidas de tendência central indicando, dessa forma, uma grande diferença entre os valores extremos da série.

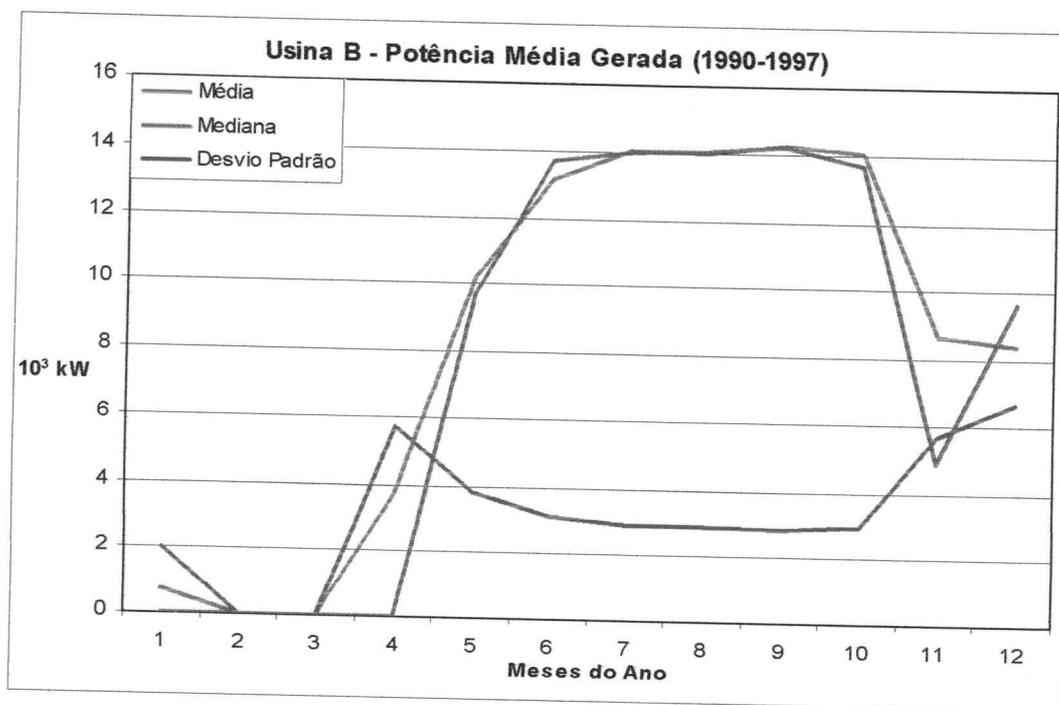


FIGURA 5.22 - Comportamento da Média, Mediana e Desvio Padrão da Potência Média Gerada pela Usina B no período 90/97

5.2.2. Análise do Consumo Específico da Usina B.

A Usina B se enquadra como uma usina de alto desempenho para as condições do Estado de São Paulo. No período de 1990 a 1997, a empresa obteve um crescimento na quantidade de energia autogerada em relação à tonelagem de cana moída muito significativo, o que corresponde a um ganho de produtividade.

No entanto, a empresa tem que gerar no maior nível possível sua energia, reduzindo o consumo interno de energia térmica e também o consumo interno de energia elétrica, o que provoca uma elevação do consumo específico.

Como as turbinas de contrapressão e múltiplos estágios têm rendimento em torno de 0,68, portanto cerca de 42% a mais que as turbinas de simples estágio, os valores apresentados pela Usina B são compatíveis com o seu

desempenho. Tal desempenho corresponde ao plano de aumento de energia adicional para o Estado de São Paulo proposto pelo DNAEE, relatado por BALBO (1990). Portanto, de acordo com relatos dos órgãos administrativos da empresa, os valores de consumo específico alcançados em 1996/97 viabilizam o retorno do capital investido, prevendo não apenas a auto-suficiência em energia elétrica mas, apontando para ganhos adicionais com a venda do excedente para a concessionária e conseqüente redução dos custos nos processos de produção de vapor, açúcar e álcool.

As concessionárias, por sua vez, organizam-se para obter vantagem desse processo, porque imaginam que as usinas com modificações nos sistemas de produção de vapor, invariavelmente terão sobras de combustível e energia. Convém, no entanto, lembrar que a oferta de energia no Brasil não tem evoluído na mesma proporção da demanda nos últimos anos. Esse desequilíbrio certamente provocará, ao longo do tempo, um aumento substancial das tarifas por parte do governo. Se houver escassez de energia as concessionárias, como encarregadas da distribuição de energia elétrica, serão obrigadas a procurar parceiros que possam lhes oferecer energia, pagando um preço justo.

Os modernos sistemas de cogeração nos diversos tipos de indústrias, conforme já se analisou anteriormente, recomendam não só a geração para suprir as necessidades individuais de cada uma, mas também proporcionar excedente que possa ser comercializado, obtendo receitas adicionais e redução dos custos de produção. Assim, essa meta, as usinas de açúcar e as destilarias de álcool correspondem a um potencial emergente de produção de energia elétrica, cujo

investimento se situa ao redor de 1 milhão de dólares o MW gerado, cerca da metade do preço de uma geração hidrelétrica e a sexta parte da geração nuclear.

Observando-se o gráfico contido na Figura 5.23, visualizamos o comportamento do consumo específico. Nota-se que no começo da safra a produtividade é baixa, pela menor disponibilidade de cana moída. A medida em que o processo industrial vai aumentando sua carga nominal, o consumo específico também aumenta, ocorrendo seu ponto de máxima no final da safra.

Algumas vezes, no final da safra, o estoque de cana moída é suficiente apenas para gerar a energia necessária ao processo industrial.

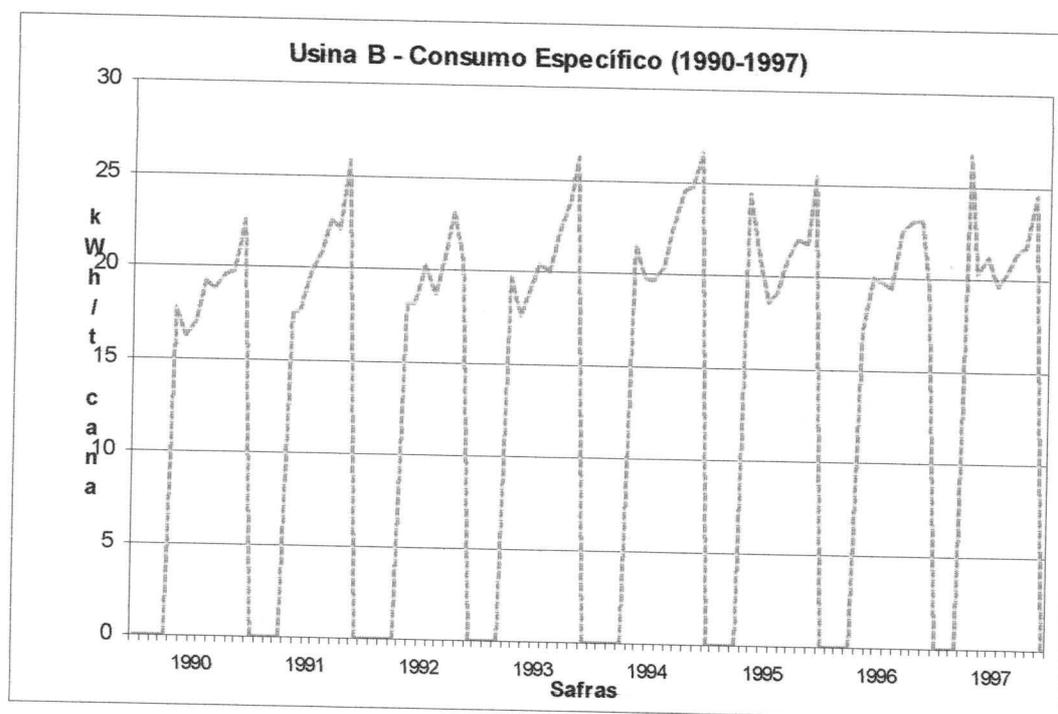


FIGURA 5.23 - Consumo específico da Usina B no período 1990-1997

Como o grupo de geradores possui uma potência nominal e, sendo o bagaço de fim-de-safra suficiente para alimentar as caldeiras, o consumo

específico assume valores maiores que os apresentados durante todo o período de moagem.

Na Figura 5.23 apenas o ano de 1990 ficou um pouco abaixo em seus valores em relação ao período 1991-1997.

Nesse período, portanto, o gráfico revela que a produtividade correspondente ao consumo específico manteve-se constante. Essa condição representa um equilíbrio na geração, medida muito saudável num processo de venda de energia excedente, pois essa regularidade tranquiliza as concessionárias quanto ao fornecimento de energia firme.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL publicou, a Resolução nº 266/98 que estabelece os Valores Normativos (VNs) que limitam o repasse dos preços na aquisição de energia elétrica, livremente negociados pelas distribuidoras, para as tarifas dos consumidores finais. A matéria foi tema de Audiência Pública promovida pela ANEEL em 16/07/99, quando foram recebidas contribuições ao aprimoramento da regulamentação, grande parte delas incorporadas ao texto final da Resolução.

De acordo com o texto da Resolução, os Valores Normativos estabelecidos pela ANEEL são diferenciados por tipo de fonte energética e se baseiam nos custos dos novos empreendimentos de geração, nos Contratos Bilaterais de Compra de Energia Elétrica e nas diretrizes da Política Energética Nacional.

O Valor Normativo definido pela ANEEL é expresso em R\$/MWh e a cada Contrato de Compra de Energia Elétrica será associado o VN vigente à época da contratação, bem como a respectiva fórmula de reajuste. Estes parâmetros permanecerão constantes para o respectivo contrato durante toda sua vigência.

A critério da ANEEL, os valores do VN poderão ser revistos anualmente ou na ocorrência de mudanças estruturais relevantes na cadeia de produção de

energia elétrica, deixando de existir quando as condições de mercado assim exigirem. Portanto, o caráter transitório do VN está diretamente relacionado à data de contratação e às condições de mercado.

A definição do Valor Normativo não terá qualquer impacto nas atuais tarifas de energia elétrica autorizadas pela ANEEL para as concessionárias. E o consumidor final, com a competição no setor elétrico, será o maior beneficiado nesse processo. A tabela 6.1 mostra os Valores Normativos definidos pela ANEEL, vigente em outubro/1999.

<i>Tipo de Fonte Energética</i>	<i>Valor Normativo (R\$/MWh)</i>
Competitiva (1)	57,20
Termelétrica Carvão Nacional	61,80
Pequena Central Hidrelétrica - PCH	71,30
Termelétrica Biomassa (2)	80,80
Usina Eólica	100,90
Usina Solar Foto-voltáica	237,50
Observação: (1) e (2) Este Valor Normativo será também utilizado para contratos oriundos de processo de cogeração qualificada a gás natural ou biomassa.	

Tabela 6.1 – Valores Normativos por tipo de fonte energética
Fonte: ANEEL

Em 1989, o DNAEE, órgão responsável pela política nacional de energia elétrica na época, estabeleceu um convênio com algumas usinas do Estado de São Paulo com a finalidade de incentivar a produção de energia elétrica em sistemas de cogeração, para ligação em paralelo com a rede de distribuição das concessionárias.

O principal objetivo desse interesse, por parte do governo, foi vislumbrar a possibilidade de adicionar razoável potência nos sistemas de distribuição de energia, através da implantação de geradoras independentes que não utilizassem petróleo como combustível.

Nesse contexto, as usinas de açúcar e álcool e as destilarias representavam duas perspectivas importantes: primeiro, com a auto-suficiência as usinas diminuiriam sua participação como consumidores sazonais de carga elevada; segundo, porque haveria possibilidade de geração de excedente que poderia ser repassado às distribuidoras.

Decorre daí, a necessidade de se estudar a viabilidade dessa proposta. A coleta de dados de uma série histórica de oito anos permitiram diversas conclusões e críticas a respeito do desempenho de duas usinas da região de Ribeirão Preto e seus respectivos sistemas de cogeração, bem como permitiu avaliar as reais possibilidades do setor sucroalcooleiro de se constituírem numa fonte adicional de energia elétrica.

6.1. A aplicação de modelos de regressão em dados de produção

Para se verificar o grau de associação entre duas variáveis quantitativas, é calculado em geral, o coeficiente de correlação linear amostral, indicado por r . (CURI, 1997). Sua magnitude depende da variação de cada variável

individualmente, variação medida em termos de desvios quadráticos em relação à respectiva média, e da variação conjunta das duas variáveis medida em termos do produto dos desvios.

A Análise de Regressão permite ajustar uma função matemática, $Y=f(X)$, que possibilita fazer estimativas ou previsões sobre a variável dependente (Y) a partir da variável independente (X), sendo que extrapolações aos limites teóricos conhecidos nem sempre resultam na descrição correta do fenômeno. Dessa maneira, a condução do presente estudo se norteou pelo princípio termodinâmico envolvido no processo, que rege o desempenho operacional da caldeira, e conseqüentemente, do sistema de geração de energia elétrica.

Assim, em um sistema hipotético, a relação entre a produção de vapor e a quantidade de combustível aplicada ao sistema se comporta de maneira tal que:

- Na primeira fase, a quantidade de vapor produzido é insignificante, apesar de aumentos sucessivos na quantidade de combustível. Nessa fase, o sistema ainda não atingiu seu patamar operacional;
- Na segunda fase, após ultrapassado o limiar operacional do sistema, incrementos sucessivos na quantidade de combustível são refletidos diretamente na quantidade de vapor produzido, até um limite superior;
- Na terceira fase, com o sistema já operando a capacidade máxima de produção de vapor, incrementos na quantidade de combustível

passam a não apresentar novos aumentos significativos na produção de vapor, pois o sistema já atingiu o ponto de saturação.

A Figura 6.1 descreve graficamente o comportamento dessa função.

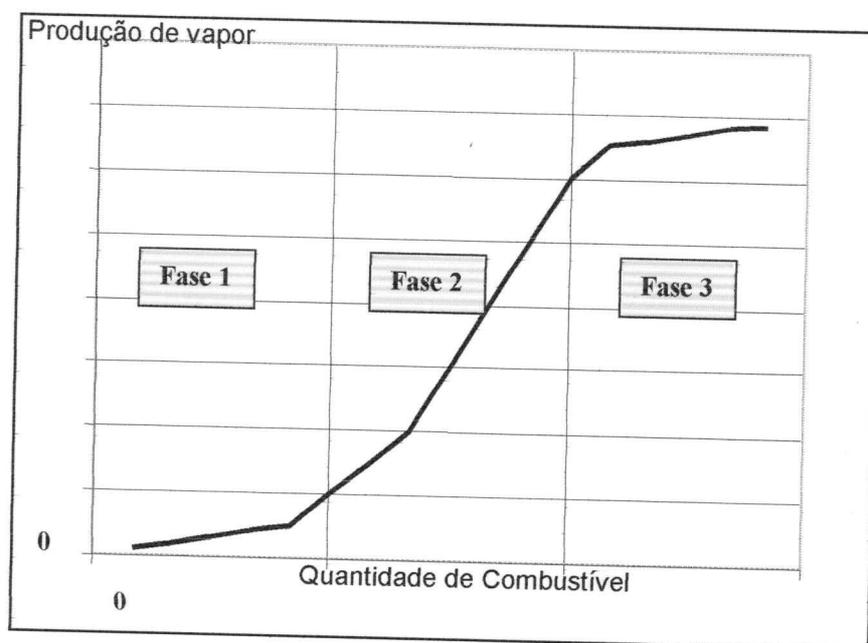


Figura 6.1 – Produção de vapor em função da quantidade de combustível na caldeira

Consequentemente, como a produção de energia elétrica depende diretamente da quantidade de vapor disponível e este do bagaço utilizado como combustível, podemos inferir que o comportamento da curva de produção de energia elétrica se mostra similar ao da figura 6.1. Entretanto, o ajuste de funções de características não lineares implica em métodos iterativos complexos e de difícil solução. Para solucionar esse problema, utilizou-se no presente trabalho de

aproximações estatísticas com base em equações polinomiais, sendo os resultados válidos para o intervalo de produção das referidas indústrias.

6.2. Usina A

Para se avaliar o comportamento da curva de produção de energia elétrica em função da quantidade de cana moída, utilizou-se primeiramente um ajuste logarítmico efetuado por software estatístico. O modelo foi elaborado com base nas funções de crescimento dadas pela equação:

$$Y = K / (1 + A \cdot e^{-Bx}), \text{ onde}$$

K = Constante assintótica máxima horizontal;

A e B = Parâmetros a serem estimados;

x = Tonelagem de Cana Moída.

O ajuste resultante é mostrado na Figura 6.2.

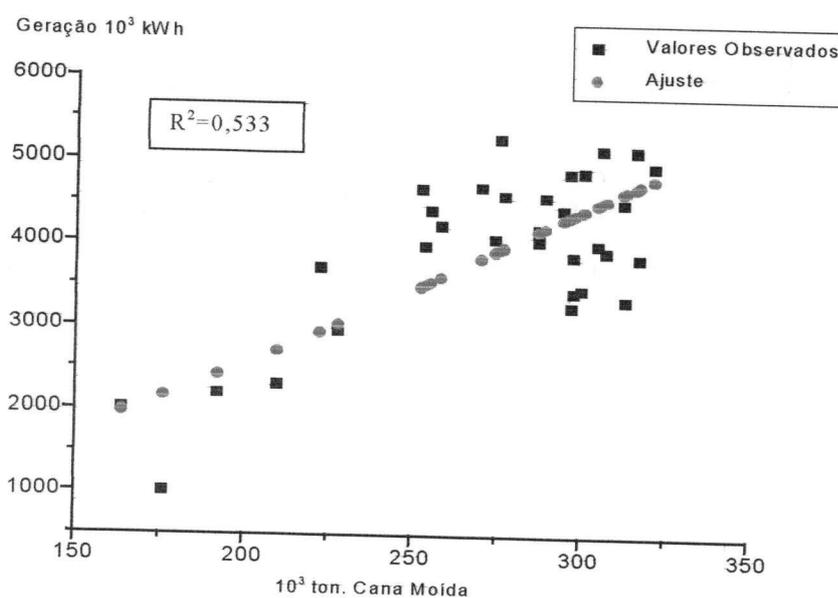


Figura 6.2 - Ajuste de função logarítmica para os dados de Produção de Energia em função da quantidade de Cana Moída pela Usina A – 1990-1996

Os resultados obtidos com os dados da Usina A não são promissores. A referida usina realizou investimentos modestos ao final da década passada e, de lá para cá, não se preocupou em melhorar seu desenvolvimento pois não acreditava, segundo os administradores da empresa, que a competitividade desse mercado pudesse gerar receitas adicionais, ao contrário do planejamento elaborado pela Usina B no longo prazo.

Em setores da economia extremamente competitivos, o descompasso tecnológico pode atrasar qualquer programa modesto de ampliação.

Com a privatização de grande parte do setor elétrico brasileiro, esses mercados se tornaram autofágicos e só sobreviverão aqueles que se prepararem tecnicamente para otimizar seus sistemas adotando paralelamente programas de redução de custos e qualidade total.

O setor energético é muito exigente e não admite concorrentes fracos ou atrasados, cujos preços de venda não sejam compensadores.

Verificando-se o item tonelagem de cana moída pela Usina A, nota-se que durante toda série histórica praticamente se manteve constante. Esse fator influi na capacidade de geração, pois o combustível é resultante desse processo.

No confronto entre a tonelagem de cana moída e a geração de energia total produzida ficou caracterizada a função:

$$Y = 15280,075 - 37,425 X + 4,1 \cdot 10^{-4} X^2 - 7,85 \cdot 10^{-10} X^3,$$

que possui três pontos de inflexão. Como o último coeficiente da função (X^3) é negativo, este determina o comportamento da função em sua fase final

(descendente) a partir da moagem de 300 mil toneladas. Isto quer dizer que há uma necessidade implícita de troca e/ou ampliação do conjunto gerador.

O exame da potência média gerada confirma a impossibilidade da empresa em manter um fornecimento regular de energia a concessionária, inviabilizando os interesses da ANEEL.

Se a empresa aumentar, nos próximos anos, o suprimento de energia de fora de seu complexo de geração, poderá amargar prejuízos significativos.

Em razão da impossibilidade anteriormente examinada, a empresa apresentou um consumo específico muito baixo, o que caracteriza uma empresa ineficiente.

6.3. Usina B

O resultado do ajuste logarítmico para os dados da Usina B estão dispostos na Figura 6.3.

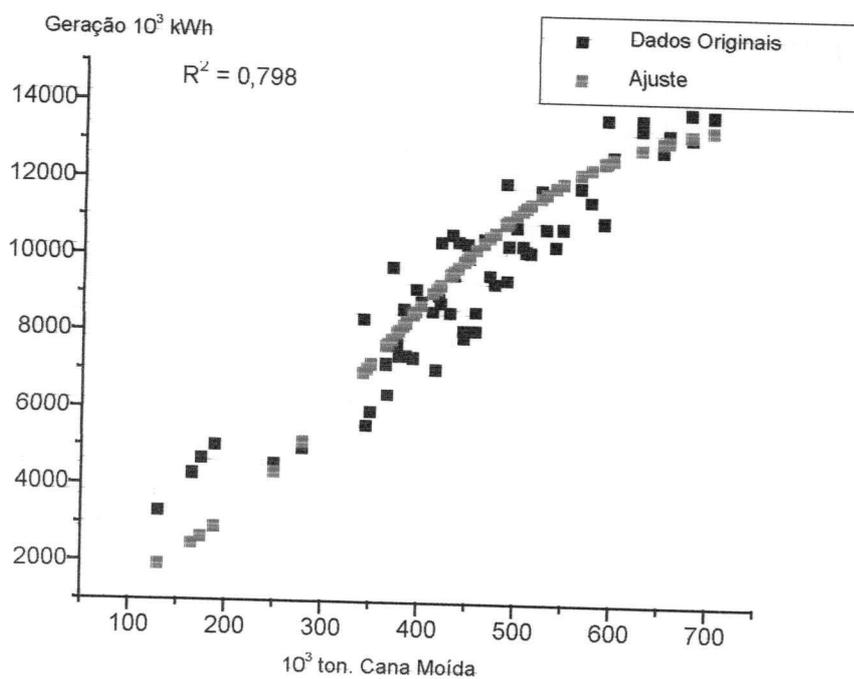


Figura 6.3 – Ajuste de função logarítmica para os dados de Produção de Energia em função da quantidade de Cana Moída pela Usina B – 1990-1997

Já nesse caso, o ajuste logarítmico, apesar de apresentar um coeficiente de correlação próximo de 80%, se mostra compatível com o desempenho esperado, fornecido pela curva teórica da Figura 6.1.

A Usina B atingiu durante o período estudado uma tonelagem de cana moída bastante homogênea, denotando uma boa interação entre o setor agrícola e o industrial. Essa homogeneidade resultou na regularidade do processo de produção de açúcar e álcool em todo o período.

Essa característica relevante representa o resultado dos investimentos efetuados no setor industrial e sistemas de produção de vapor, bem como determinou a obtenção de bons resultados no conjunto de cogeração.

Um avanço significativo na autogeração, também em função da instalação de turbinas modernas de contrapressão e múltiplos estágios com rendimento ao redor de 0,68 também é facilmente verificável..

O confronto entre cana moída e energia autogerada ficou caracterizado pela função $Y = 880074,01 + 14,18 X + 1,719 \cdot 10^{-5} X^2 - 1,498 \cdot 10^{-11} X^3$.

O comportamento da energia total produzida é uma constatação não só pela análise gráfica contida na Figura 5.15 como a evolução de todos os demais parâmetros.

As médias de produção de energia total são elevadas no período 1990-1997. Dentro desse horizonte histórico vê-se constituído um desenvolvimento

significativo, em resposta aos investimentos pesados levados a efeito pela empresa no início dos anos 90.

Outro traço peculiar são os incrementos significativos de potência média ano a ano no período estudado, com a Usina B produzindo energia elétrica no mês de dezembro, tendo em vista a disponibilidade de bagaço num período em que as demais já tinham encerrado o processo de produção.

A Usina B acreditou no programa e propostas apresentadas pelo Convênio DNAEE/Usinas e respondeu positivamente gerando um excedente suficiente para abastecer durante toda a safra um grande percentual da energia elétrica consumida na cidade de Morro Agudo, município no qual está sediada a usina.

No que tange ao consumo específico, segundo informações da diretoria da empresa, tem melhorado ano a ano, porém ainda estão em níveis inferiores aos apresentados pelo Hawaii, por exemplo, mas os objetivos apontam para uma eficiência ainda maior, quando o interesse pela distribuição da energia elétrica aumentar em breve espaço de tempo, impulsionada pela pressão constante da demanda reprimida em todo o país.

6.3. Análise Conjunta

Quando não se dispõe de dados financeiros de uma empresa, a análise de seu desempenho fica restrita a análise sob o ponto de vista técnico e nem sempre

o conjunto gerador mais apropriado, ou a melhor técnica de extração de caldo são fatores determinantes de um conjunto otimizado.

É nesse caso que a análise marginal pode significar um importante instrumento de qualificação, pois na teoria marginalista o desempenho está associado à produção.

Com esse instrumento é possível estabelecer um modelo genérico, sem a necessidade de se levar em consideração as questões financeiras envolvidas. As conclusões resultantes dessa análise são, na realidade, possíveis graças ao estudo da teoria de produção.

Não cabe neste trabalho estabelecer uma avaliação de produção de açúcar e álcool, dos quais depende toda a tonelagem de cana moída, e sim restringi-los a produção de energia elétrica.

Os processos de cogeração, na maioria das vezes, são considerados complementares, utilizando-se das sobras de vapor da indústria para geração de energia elétrica.

Tomando como base a teoria marginalista a presente discussão se reporta à produção de energia elétrica pelas Usina A e B. Conforme estabelecido anteriormente, o confronto entre cana moída e produção de energia, forneceu as equações:

$$Y = 15280,075 - 37,425 X + 4,1 \cdot 10^{-4} X^2 - 7,85 \cdot 10^{-10} X^3$$

para a Usina A e

$$Y = 880074,01 + 14,18 X + 1,719 \cdot 10^{-5} X^2 - 1,498 \cdot 10^{-11} X^3 .$$

para a Usina B.

Dispondo-se então das funções de produção de ambas as usinas, pode-se determinar a função de produtividade marginal, que corresponde a derivada primeira da função de produção.

Dessa forma a produtividade marginal correspondente a Usina A foi dada por:

$$\frac{dy}{dx} = -37,4 + 8,19 \cdot 10^{-4} X - 2,36 \cdot 10^{-9} X^2$$

e da Usina B:

$$\frac{dy}{dx} = 14,18 + 3,44 \cdot 10^{-5} X - 4,49 \cdot 10^{-11} X^2$$

doravante denominadas produtividade marginal (Pmg). Assim sendo, a função de produtividade marginal de energia elétrica para a Usina A seria:

$$Pmg_A = -37,4 + 8,19 \cdot 10^{-4} X - 2,36 \cdot 10^{-9} X^2$$

e a função de produtividade marginal de energia elétrica para a Usina B seria:

$$Pmg_B = 14,18 + 3,44 \cdot 10^{-5} X - 4,49 \cdot 10^{-11} X^2$$

onde X representa a tonelagem de cana moída.

O gráfico que representa a produtividade marginal da Usina A é mostrado na Figura 6.4.

Nessa figura pode-se verificar as características da função trinômio do 2. grau definida anteriormente. À luz da teoria econômica, essa função revela que existe possibilidade de maximização da produção de energia em dois pontos.

O primeiro ao redor de 55.000 toneladas/mês que se mostra inviável visto que o objetivo principal da empresa é a produção de açúcar e álcool e nesse nível de produção não é possível realizar uma produção satisfatória de seus insumos principais.

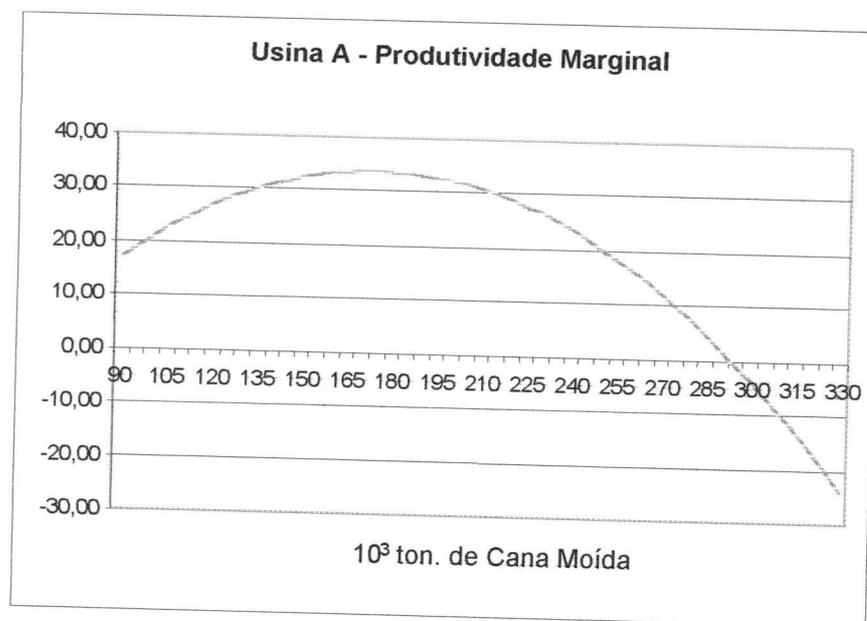


FIGURA 6.4 - Curva de produtividade marginal da produção de energia elétrica da Usina A.

No segundo ponto ao redor de 290.000 toneladas/mês encontramos a capacidade máxima de moagem da indústria.

Dessa observação advém que a indústria está maximizando a produção de energia elétrica no mesmo instante em que maximiza sua capacidade nominal

de moagem. Não existe portanto possibilidade de ampliação tanto de geração como de aumento de moagem de cana.

Nessa visão, a empresa não dispõe de nenhuma reserva, nem possibilidade de produção de uma maior quantidade de bagaço. Teria necessariamente que partir para a secagem do bagaço, com finalidade de aumentar seu poder calorífico, sendo que esta proposta poderia se mostrar economicamente inviável devido aos altos custos da secagem artificial.

Para a Usina B o quadro se apresenta de uma forma diferente. A função produtividade marginal pode ser visualizada na Figura 6.5.

O comportamento da mesma é de uma parábola com a concavidade voltada para baixo.

Para a Usina B a função $P_{mg\ B}$ corta o eixo X, em dois pontos. Um deles ocorre na seção negativa, automaticamente descartado.

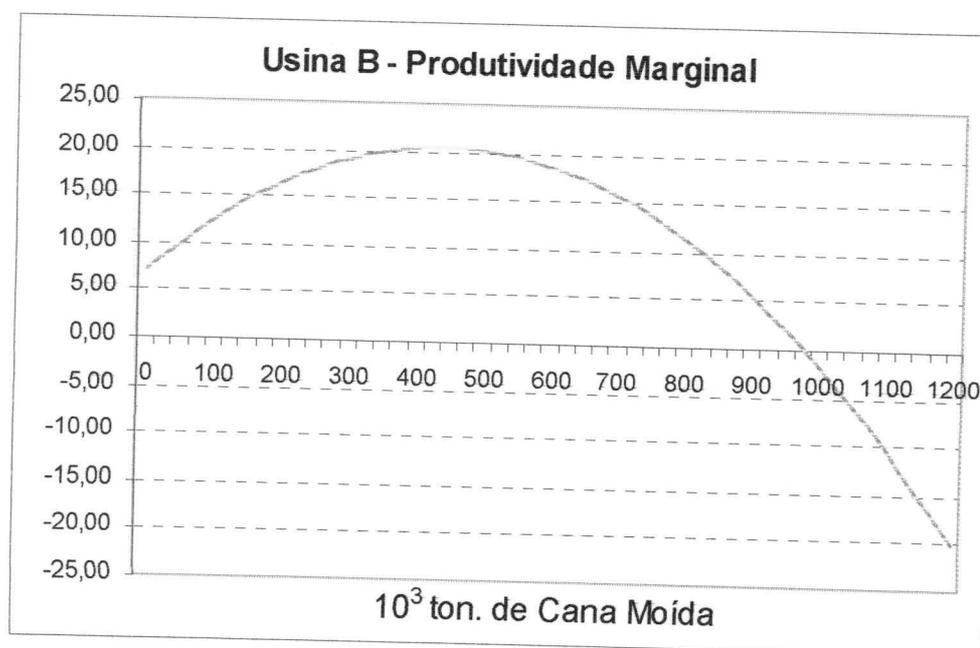


FIGURA 6.5 - Curva de produtividade marginal da função de produção de energia elétrica da Usina B.

O ponto mais importante, ou seja em que a função Pmg_B corta o eixo X ocorre ao redor de 1.000.000 toneladas/mês, valor esse 25% acima da capacidade atual de produção, permitindo que a mesma amplie sua geração em mais 4.000 kWh.

A direção da empresa tem conhecimento desse fato e estabeleceu um projeto de ampliação com investimentos de cerca de 4 milhões de dólares em novas caldeiras de alta pressão e novo conjunto de turbo-geradores, que deverá ser implementado nos próximos anos. Mesmo assim essa ampliação está condicionada a expansão da área plantada de cana na região.

6.4. Venda de Bagaço *versus* produção de Energia Elétrica

Mantidas as condições básicas para operação da indústria e considerando-se que o bagaço excedente pode ser vendido “in natura” ou convertido em energia elétrica, realizou-se uma simulação, com base nos valores médios de consumo específico, preço de venda do bagaço e preço de venda da energia elétrica produzida, obtendo-se os seguintes resultados:

Premissas:

- Fixado o valor de venda de energia elétrica ($VN=80,87$ R\$/MWh)
- Variando-se o preço do bagaço “in natura”
- Considerando-se que 1 tonelada de cana produz 250 kg de bagaço com 50% de umidade (conservativa);

Temos:

		Usina A	Usina B
Considerações Iniciais:			
Consumo Específico Medio:	kWh/tc	15,00	35,00
Consumo Específico Medio:	kWh/tb	60,00	140,00
Necessidade Mínima Mensal de Energia:	kWh	4.000.000,00	8.000.000,00
Valor pago pela Energia Elétrica Produzida:	R\$/MWh	80,87	80,87
Moagem Mensal de Cana:	t	300.000,00	700.000,00
Produção Mensal de Bagaço	t	75.000,00	175.000,00
Valor de venda do Bagaço:	R\$/t	4,8522	11,3218
Necessidade Mínima Mensal de Bagaço:	t	66.666,67	57.142,86
Sobra potencial de Bagaço:	t	8.333,33	117.857,14
Receita com a venda de Energia:	R\$	40.435,00	1.334.355,00
Receita com a venda de Bagaço:	R\$	40.435,00	1.334.355,00

Graficamente:

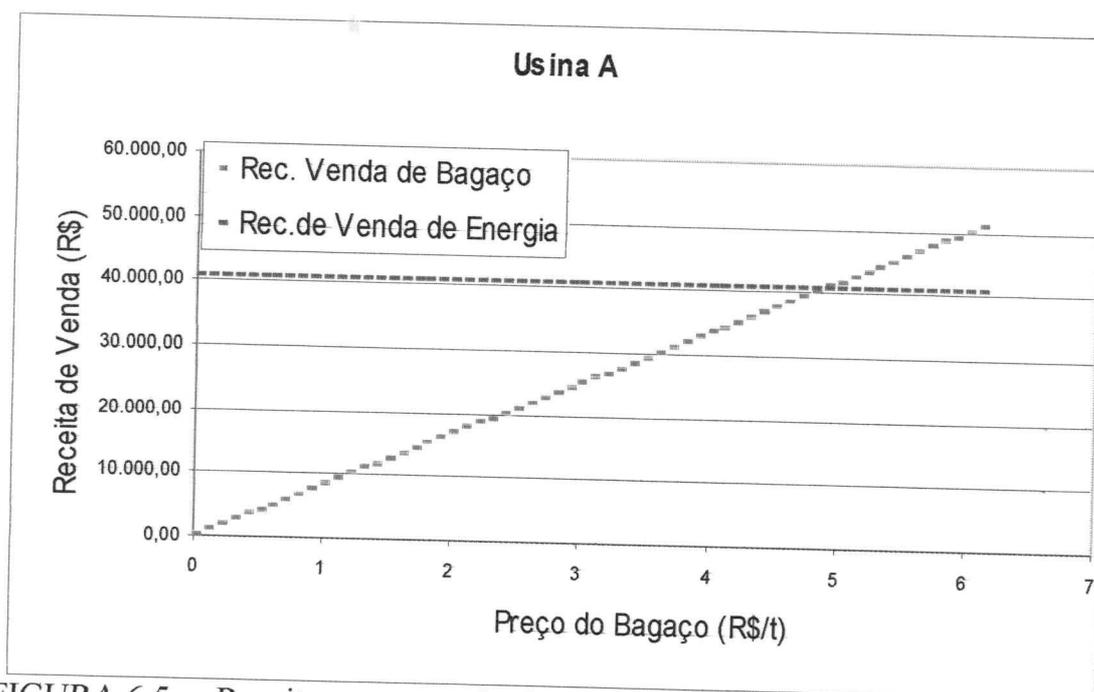


FIGURA 6.5. – Receita com a venda de Bagaço “in natura” x Receita com venda de Energia Elétrica, variando o preço do bagaço, para a Usina A.

Pela análise da Figura 6.5, podemos observar que para valores de venda de bagaço até de R\$ 4,85/ton. é aconselhável produzir energia elétrica, contudo, para valores superiores a esse patamar, a venda de bagaço “in natura” é mais rentável que a produção de energia.

Na Figura 6.6, temos o resultado da simulação para os dados da Usina B.

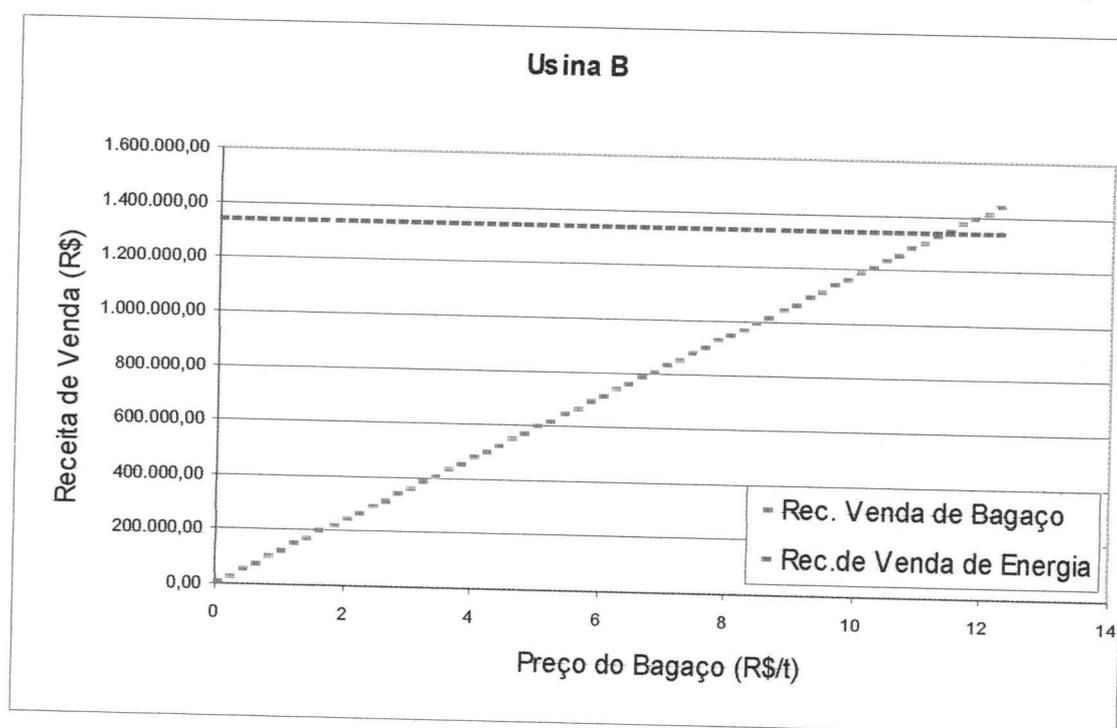


FIGURA 6.6. – Receita com a venda de Bagaço “in natura” x Receita com venda de Energia Elétrica, variando o preço do bagaço, para a Usina B.

Já no caso da Usina B, o melhor rendimento do processo produtivo, e especialmente do conjunto gerador, faz com que só seja compensador para a indústria vender o excedente de bagaço “in natura” por valores acima de R\$ 11,32, valor esse superior aos preços praticados pelo mercado.

O mais importante desta análise é a possibilidade de comparar diversas usinas que adotam sistemas de cogeração. Basta que se tenha disponível uma série histórica de dados de moagem e produção de energia elétrica, constituindo-se portanto numa metodologia de análise de desempenho.

Convém salientar que no presente trabalho preocupou-se apenas com o estudo da geração de energia e da possibilidade da sua venda. Algumas indústrias não se preocupam com esses parâmetros, voltando suas atenções somente para a produção de açúcar e álcool.

Cabe portanto ressalvas importantes quanto ao destino das usinas quando vistas pelo lado da administração de recursos energéticos. É provável que em algumas delas seja mais econômico vender o bagaço excedente que transformá-lo em energia elétrica.

ANEXO A

QUADRO 1 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a safra 1990.

MES	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	102699	0	0	0	-	0	0	0
2	118393	0	0	0	-	0	0	0
3	119645	0	0	0	-	0	0	0
4	114138	0	0	0	-	0	0	0
5	52057	230000	0	230000	10,96	209846	55609	3091
6	44049	261500	0	261500	10,36	252364	66876	3631
7	28235	334500	0	334500	10,69	313009	82947	4495
8	40470	219300	0	219300	11,41	192181	50928	2947
9	2233	3264639	0	3264639	10,99	297017	78710	4534
10	0	2952100	0	2952100	12,96	227834	60376	3967
11	91822	0	0	0	-	0	0	0
12	87966	0	0	0	-	0	0	0
Média	66808,92	1389144,92	0,00	1389144,92	11,23	124354,25	32953,83	1888,75
Mediana	70011,5	1096500	0	1096500	10,97	96090,5	25464	1473,5
D. Padrão	44317,84	1487602,65	0,00	1487602,65	0,92	133889,64	35480,71	2025,16

QUADRO 2 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a safra 1991.

MES	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	228402	0	0	0	-	0	0	0
2	238220	0	0	0	-	0	0	0
3	237870	0	0	0	-	0	0	0
4	269475	0	0	0	-	0	0	0
5	238985	2012800	0	2012800	12,29	163824	43413	2705
6	6422	3436600	0	3436600	11,54	297754	78905	4773
7	999	3541607	879193	4420800	15,01	294483	78038	5941
8	356	3496220	1385380	4881600	16,24	300565	79650	6561
9	270	3523037	1142963	4666000	18,49	252414	66890	6480
10	747	3650057	1044343	4694400	17,38	270126	71583	6309
11	67848	1365000	377400	1742400	-	0	0	2420
12	295580	0	0	0	-	0	0	0
Total	1585174	21025321	4829279	25854600		1579166	418479	35189
Média	132097,83	1752110,08	402439,92	2154550,00	15,16	131597,17	34873,25	2932,42
Mediana	148125	1688900	0	1877600	15,62	81912	21706,5	2562,5
D. Padrão	127152,38	1689200,23	546743,30	2139986,22	2,78	141877,80	37597,65	2906,14

QUADRO 3 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a safra 1992.

MES	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	269920	0	0	0	-	0	0	0
2	307940	0	0	0	-	0	0	0
3	283300	0	0	0	-	0	0	0
4	296770	0	0	0	-	0	0	0
5	289220	716600	157400	874000	14,61	59830	15855	1174
6	60634	3488000	1379200	4867200	16,43	296277	78513	6760
7	550800	3030400	970000	4000400	13,13	304633	80728	5376
8	0	3761000	1394200	5155200	16,85	305863	81054	6929
9	38300	3317000	1089400	4406400	17,27	255180	67623	6120
10	20100	3581700	1011900	4593600	16,59	276829	73360	6174
11	8300	2888700	812100	3700800	16,64	222399	58936	5140
12	243900	0	0	0	-	0	0	0
Total	2369184	20783400	6814200	27597600		1721011	456069	37673
Média	197432,00	1731950,00	567850,00	2299800,00	15,93	143417,58	38005,75	3139,42
Mediana	256910	1802650	484750	2287400	16,59	141114,5	37395,5	3157
D. Padrão	170665,75	1710607,19	588716,47	2291828,99	1,50	142095,47	37655,38	3129,18

QUADRO 4 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a safra 1993.

MES	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	279216	0	0		-	0	0	0
2	292140	0	0		-	0	0	0
3	284976	0	0		-	0	0	0
4	340740	0	0		-	0	0	0
5	235980	990540	17460	1008000	5,72	176082	46769	1362
6	51120	4765284	1354716	6120000	22,41	273040	70532	8270
7	288	3940596	1013004	4953600	15,42	321282	77962	6694
8	3384	4182084	958716	5140800	16,27	316012	79472	6947
9	40500	3441168	533232	3974400	15,68	253506	65362	5371
10	1728	3628548	417852	4046400	14,09	287251	75696	5468
11	195444	1200204	38196	1238400	24,57	50411	14812	1674
12	319860	0	0	0	-	0	0	0
Total	2045376	22148424	4333176	26481600		1677584	430605	35786
Média	170448,00	1845702,00	361098,00	3310200,00	16,31	139798,67	35883,75	2982,16
Mediana	215712	1095372	27828	4010400	15,67	113246,5	30790,5	1517,83
D. Padrão	138975,32	1960434,12	493279,21	2251345,38	6,10	142521,80	36087,93	3277,35

QUADRO 5 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a safra 1994.

MES	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	293970	0	0	0	-	0	0	0
2	334440	0	0	0	-	0	0	0
3	347298	0	0	0	-	0	0	0
4	380392	0	0	0	-	0	0	0
5	253295	1267290	43110	1310400	6,08	215388	55057	1771
6	1969	5168178	102222	5270400	19,12	275657	72757	7122
7	113	3811610	105190	3916800	12,75	307256	82140	5293
8	37916	3588844	471956	4060800	14,81	274249	72964	5488
9	38	3995262	583938	4579200	15,84	289071	82102	6188
10	31254	2256454	407546	2664000	18,28	145749	45424	3600
11	399480	0	0	0	-	0	0	0
12	304344	0	0	0	-	0	0	0
Total	2384509	20087638	1713962	21801600		1507370	410444	29462
Média	198709,08	1673969,83	142830,17	1816800,00	14,48	125614,17	34203,67	2455,14
Mediana	273632,5	633645	21555	655200	15,32	72874,5	22712	885,40
D. Padrão	167480,01	1980630,36	214981,41	2127365,10	4,72	137330,17	37125,06	2874,82

QUADRO 6 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a safra 1995.

MÊS	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	290736	0	0	0	-	0	0	0
2	331920	0	0	0	-	0	0	0
3	336816	0	0	0	-	0	0	0
4	383724	0	0	0	-	0	0	0
5	320004	0	0	0	-	23983	6376	0
6	100656	3470400	0	3470400	11,57	299966	79541	4690
7	288	3859200	0	3859200	12,98	297431	77594	5215
8	792	6580800	0	6580800	20,99	313468	76209	8893
9	0	2520000	0	2520000	8,70	289694	69410	3405
10	105480	633600	0	633600	5,05	125442	32864	856
11	334584	0	0	0	-	0	0	0
12	303660	0	0	0	-	0	0	0
Total	2508660	17064000	0	17064000		1349984	341994	23059
Média	209055,00	1422000,00	0,00	1422000,00	11,86	112498,67	28499,50	1921,62
Mediana	297198	0	0	0	11,56	11991,5	3188	0
D. Padrão	153373,07	2189455,52	0,00	2189455,52	5,94	143041,34	36114,96	2958,72

QUADRO 7 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina A durante a safra 1996.

MES	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	253980	0	0	0	-	0	0	0
2	300456	0	0	0	-	0	0	0
3	350892	0	0	0	-	0	0	0
4	368316	0	0	0	-	0	0	0
5	314604	676800	0	676800	4,46	151721	39826	915
6	0	4176000	0	4176000	14,54	287181	69385	5643
7	0	3844800	0	3844800	12,13	317011	74311	5196
8	4212	4507200	0	4507200	14,43	312297	73733	6091
9	10944	4219200	0	4219200	16,34	258204	62890	5702
10	58212	7560000	0	7560000	25,44	297144	73354	6520
11	155664	0	0	0	-	134630	37833	0
12	156636	0	0	0	-	0	0	0
Total	1973916	24984000	0	24984000		1758188	431332	30066
Média	164493,00	2082000,00	0,00	2082000,00	14,56	146515,67	35944,33	2505,50
Mediana	156150	338400	0	338400	14,47	143175,5	38829,5	457,29
D. Padrão	147751,05	2627354,94	0,00	2627354,94	6,78	141101,06	33874,67	2961,33

QUADRO 8 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a safra 1990.

MÊS	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	143880,0	0	0	0	-	0	0	0
2	225710,0	0	0	0	-	0	0	0
3	201600,0	0	0	0	-	0	0	0
4	173280,0	0	0	0	-	0	0	0
5	50400,0	4955454	0	4955454,0	17,77	278857,0	73897,0	6660,0
6	93600,0	5591509	0	5591509,0	16,22	344835,0	91381,0	7765,0
7	0	7071786	7614	7079400,0	17,02	416025,0	110247,0	9515,0
8	10000,0	6757928	663966	7421894,0	22,18	384680,0	101940,0	9975,0
9	10000,0	6753981	624000	7377981,0	18,81	392199,0	103933,0	10249,0
10	126000,0	6728828	686790	7415618,0	19,65	377474,0	100031,0	9967,0
11	86400,0	6591956	616662	7208618,0	19,8	364133,0	96495,0	10011,0
12	10000,0	1358672	0	1358672,0	22,49	60424,0	16012,0	1826,0
Total	1130870	45810114	2599032	48409146		2618627	693936	65968
Média	94239,17	3817509,50	216586,00	4034095,50	19,24	218218,92	57828,00	5497,33
Mediana	90000	5273481,5	0	5273481,5	19,23	311846	82639	7212,5
D. Padrão	80161,66	3202470,06	318993,22	3424151,54	2,27	185581,28	49179,10	4670,76

QUADRO 9 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a safra 1991

MÊS	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	143000,0	0	0	0	-	0	0	0
2	136220,0	0	0	0	-	0	0	0
3	176110,0	0	0	0	-	0	0	0
4	178900,0	0	0	0	-	0	0	0
5	216000,0	6043539	368442	6411981,0	17,52	366042,0	97001,0	8618,0
6	0	6809025	1090710	7899735,0	17,76	444797,0	117871,0	10971,0
7	640000,0	7469335	1077940	8547275,0	19,87	430167,0	113994,0	11488,0
8	0	7379464	1421172	8800636,0	20,94	420186,0	111349,0	11828,0
9	0	7233241	1395522	8628763,0	22,6	381867,0	101195,0	11984,0
10	10000,0	7393577	1445950	8839527,0	22,09	400162,0	106043,0	11881,0
11	0	3557934	716302	4274236,0	25,93	164811,0	43675,0	5936,0
12	138300,0	0	0	0	-	0	0	0
Total	1638530	45886115	7516038	53402153		2608032	691128	72706
Média	136544,17	3823842,92	626336,50	4450179,42	20,96	217336,00	57594,00	6058,83
Mediana	137260	4800736,5	542372	5343108,5	20,94	265426,50	70338	7277
D. Padrão	179336,15	3533180,31	628913,56	4125741,11	2,94	204434,14	54174,99	5608,48

QUADRO 10 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a safra 1992

MÊS	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	158000,0	0	0	0	-	0	0	0
2	158000,0	0	0	0	-	0	0	0
3	165530,0	0	0	0	-	0	0	0
4	167470,0	0	0	0	-	0	0	0
5	19998,0	4234806	319194	4554000,0	18,24	249611,0	66147,0	6120,0
6	0	6896618	1195200	8091818,0	18,22	444027,0	117667,0	11238,0
7	180000,0	7755544	1805346	9560890,0	20,3	471088,0	124838,0	12850,0
8	0	6985934	1590138	8576072,0	18,76	457108,0	121134,0	11526,0
9	0	6876498	1694556	8571054,0	20,79	412197,0	109232,0	11904,0
10	0	7385604	1778850	9164454,0	23,21	394773,0	104615,0	12317,0
11	18000,0	6162844	1548846	7711690,0	20,52	375802,0	99588,0	10710,0
12	0	867340	343296	1210636,0	41,42	29227,0	7745,0	1627,0
Total	866998	47165188	10275426	57440614		2833833	750966	78292
Média	72249,83	3930432,33	856285,50	4786717,83	22,68	236152,75	62580,50	6524,33
Mediana	18999	5198825	769248	6132845	20,41	312706,5	82867,5	8415
D. Padrão	83043,17	3432933,74	801822,13	4206164,71	7,75	210832,39	55870,61	5734,11

QUADRO 11 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a safra 1993

MÊS	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	154872	0	0	0	-	0	0	0
2	171612	0	0	0	-	0	0	0
3	208134	0	0	0	-	0	0	0
4	125136	1573200	0	1573200	19,69	79886	21577	4682
5	108	6679158	1408896	8088054	17,69	457087	126854	10871
6	0	6956913	2477268	9434181	19,29	488868	139413	13103
7	0	7576221	2768760	10344981	20,48	505119	137754	13470
8	72	7414311	2777616	10191927	20,06	507880	148776	14155
9	0	7208782	2793708	10002490	22,25	449544	138135	13892
10	72	7517538	2902716	10420254	23,77	438247	134872	14005
11	144	6879373	2852136	9731509	26,30	369923	117529	13515
12	36	1871112	2986488	4857600	-	15778	13143	6529
Total	660186	53676608	20967588	74644196		3312332	978053	104222
Média	55015,50	4473050,67	1747299,00	6220349,67	21,20	276027,67	81504,42	8685,17
Mediana	90	6779265,5	2623014	8761117,5	20,27	404085	122191,5	11987
D. Padrão	83172,54	3398722,24	1353471,52	4576683,99	2,77	230481,01	66500,75	6051,44

QUADRO 12 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a safra 1994

MÊS	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	117072	415422	814032	1229454	-	0	0	5691
2	166644	0	0	0	-	0	0	0
3	196156	0	0	0	-	0	0	0
4	189180	928902	314352	1243254	-	11072	2136	12950
5	36	6217732	2776104	8993836	21,51	417989	125670	12491
6	36	7338594	2839896	10178490	19,84	512802	146281	14275
7	0	7746545	3043800	10790345	19,74	546390	152663	14503
8	0	7843130	2939688	10782818	20,40	528548	149834	14493
9	144	7646878	2849904	10496782	22,59	464581	132787	14579
10	36	7742941	2857968	10600909	24,55	431726	133499	14248
11	0	7563669	2836512	10400181	24,75	420167	135150	14445
12	86040	3532514	1481904	5014418	26,64	188205	63498	12662
Total	755344	56976327	22754160	79730487		3521480	1041518	130337
Média	62945,33	4748027,25	1896180,00	6644207,25	22,51	293456,67	86793,17	10861,42
Mediana	90	6778163	2806308	9586163	22,05	419078	129228,5	13599
D. Padrão	82901,83	3472812,64	1272988,70	4732601,33	2,58	232865,70	67626,72	5634,05

QUADRO 13 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a safra 1995.

MÊS	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	179784	0	0	0	-	0	0	0
2	209232	0	0	0	-	0	0	0
3	235260	0	0	0	-	0	0	0
4	212220	27600	0	27600	-	0	0	38
5	2556	5907491	2439000	8346491	24,46	341120	95903	11218
6	72	7449061	2889648	10338709	21,07	490493	133394	14359
7	0	7961795	2992896	10954691	18,60	588890	146589	14724
8	0	7331084	3008880	10339964	19,17	539138	140544	13898
9	36	8866488	2987712	11854200	21,01	564081	145946	15933
10	9180	7107048	2442552	9549600	21,99	434133	124827	13263
11	0	7796961	3014712	10811673	21,71	497842	137533	15016
12	114624	2154395	1155096	3309491	25,47	129912	37475	15322
Total	962964	54601923	20930496	75532419		3585609	962211	113771
Média	80247,00	4550160,25	1744208,00	6294368,25	21,69	298800,75	80184,25	9480,92
Mediana	5868	6507269,5	2440776	8948045,5	21,39	387626,5	110365	13580,5
D. Padrão	101102,74	3737207,92	1385563,61	5113322,61	2,35	251252,75	66250,11	7092,47

QUADRO 14 - Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a safra 1996

MÊS	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	193644	0	0	0	-	0	0	0
2	207281	0	0	0	-	0	0	0
3	235872	0	0	0	-	0	0	0
4	293184	0	0	0	-	0	0	0
5	54072	5317614	631440	5949054	17,06	348553	93188	7996
6	1008	8726219	2766672	11492891	20,00	574537	148819	15962
7	0	9811145	3049200	12860345	19,81	648883	171946	17285
8	7056	9970375	3237480	13207855	19,45	678723	187894	17198
9	3060	8478035	3304656	11782691	22,52	523198	164877	16929
10	36	9989876	3675888	13665764	23,12	591045	180705	18368
11	11664	7969719	2387808	10357527	23,15	447274	141767	14385
12	54540	6611969	2729376	9341345	19,62	475965	117910	16217
Total	1061417	66874952	21782520	88657472		4288178	1207106	124340
Média	88451,42	5572912,67	1815210,00	7388122,67	20,60	357348,17	100592,17	10361,67
Mediana	32868	7290844	2558592	9849436	19,91	461619,5	129838,5	15173,5
D. Padrão	110481,03	4330776,21	1533749,53	5818664,49	2,15	278076,27	78690,79	8083,59

QUADRO 15 -Valores obtidos dos principais parâmetros estudados da Usina B durante a safra 1997.

MÊS	Energia Adquirida	Consumida na usina (kWh)	Excedente Vendida (kWh)	Energia Total (kWh)	Consumo Específico kWh/tcana	Cana Moída (t)	Produção de Bagaço (t)	Potência Média (kW)
1	185688	0	0	0	-	0	0	0
2	206436	0	0	0	-	0	0	0
3	215676	0	0	0	-	0	0	0
4	153504	3458009	1205136	4663145	26,74	174351	52175	12143
5	5148	9789825	3519648	13309473	20,32	654990	192603	17889
6	0	9071396	3628368	12699764	21,25	597635	186190	17638
7	0	10081006	3713976	13794982	19,68	700736	205632	18542
8	0	10200089	3653856	13853945	20,45	677282	187618	18621
9	0	9821219	3603672	13424891	21,42	626514	173269	18646
10	0	10062216	3608064	13670280	21,81	626621	174220	18374
11	1836	8557324	3395232	11952556	24,54	487024	142047	16601
12	83160	4282553	2450592	6733145	43,62	154344	49798	12825
Total	851448	75323637	28778544	104102181		4699497	1363552	151279
Média	70954,00	6276969,75	2398212,00	8675181,75	22,03	391624,75	113629,33	12606,58
Mediana	3492	8814360	3457440	12326160	21,39	542329,5	157658	17119,5
D. Padrão	92297,59	4392406,87	1614427,57	5989400,25	2,40	297270,67	85313,51	7904,86

ANEXO B

AJUSTE DA CURVA LOGARITMICA COM ASSINTOTA CONHECIDA

IDENTIFICACAO: Usina A

COEFICIENTE DE CORRELACAO LINEAR: R=-.72985

COEFICIENTE DE DETERMINACAO: R2= .53269

VALORES ESTIMADOS: A= 14.8124 B= 1E-005

CONSTANTE CONHECIDA: ASSINTOTA HORIZONTAL: K= 8000000

RELACAO ORIGINAL: $Y = 8000000 / (1 + 14.8124 * \text{EXP}(- 1E-005 * X))$

COM TRANSFORMACAO: $\text{LOG}(8000000 / Y - 1) = \text{LOG}(14.8124) - 1E-005 * X$

QUADRO FINAL DE DADOS

X	YOBS	YEST	YOBS-YEST
209846	2300000	2713836.75	-413836.75
313009	3345000	4655288	-1310288
192181	2193000	2416476	-223476
297017	3264639	4351127.5	-1086488.5
227834	2952100	3033824.25	-81724.25
163824	2012800	1980495.5	32304.5
297754	3436600	4365263.5	-928663.5
294483	4420800	4302459	118341
300565	4881600	4419092	462508
252414	4666000	3492365.5	1173634.5
270126	4694400	3832182	862218
296277	4867200	4336925	530275
304633	4000400	4496715.5	-496315.5
305863	5155200	4520114	635086

255180	4406400	3545072.25	861327.75
276829	4593600	3961690.25	631909.75
222399	3700800	2935513.75	765286.25
176082	1008000	2162321.5	-1154321.5
321282	4953600	4809862.5	143737.5
316012	5140800	4711656	429144
253506	3974400	3513153.5	461246.5
287251	4046400	4163112.75	-116712.75
275657	5270400	3939032.75	1331367.25
307256	3916800	4546569	-629769
274249	4060800	3911817.75	148982.25
289071	4579200	4198231.5	380968.5
299966	3470400	4407634	-937234
297431	3859200	4359069.5	-499869.5
287181	4176000	4161761.5	14238.5
317011	3844800	4730344.5	-885544.5
312297	4507200	4641883	-134683
258204	4219200	3602878.5	616321.5

AJUSTE DA CURVA LOGARITMICA COM ASSINTOTA CONHECIDA

IDENTIFICACAO: Usina B

COEFICIENTE DE CORRELACAO LINEAR: R=-.8933

COEFICIENTE DE DETERMINACAO: R2= .7980

VALORES ESTIMADOS: A= 10.15522 B= 1E-005

CONSTANTE CONHECIDA: ASSINTOTA HORIZONTAL: K= 15000000

RELACAO ORIGINAL: $Y = 15000000 / (1 + 10.15522 * \text{EXP}(- 1E-005 * X))$ COM TRANSFORMACAO: $\text{LOG}(15000000 / Y - 1) = \text{LOG}(10.15522) - 1E-005 * X$

QUADRO FINAL DE DADOS

X	YOBS	YEST	YOBS-YEST
278857	4955454	5621028.5	-665574.5
344835	5591509	7182769.5	-1591260.5
416025	7079400	8895143	-1815743
384680	7421894	8148674	-726780
392199	7377981	8329506	-951525
377474	7415618	7974651	-559033
364133	7208618	7651251.5	-442633.5
366042	6411981	7697590.5	-1285609.5
444797	7899735	9556378	-1656643
430167	8547275	9223697	-676422
420186	8800636	8992455	-191819
381867	8628763	8080814	547949
400162	8839527	8519953	319574
164811	4274236	3338994.75	935241.25
249611	4554000	4972632.5	-418632.5

444027	8091818	9539071	-1447253
471088	9560890	10132078	-571188
457108	8576072	9829765	-1253693
412197	8571054	8805186	-234132
394773	9164454	8391198	773256
375802	7711690	7934192	-222502
457087	8088054	9829304	-1741250
488868	9434181	10502817	-1068636
505119	10344981	10827105	-482124
507880	10191927	10880752	-688825
449544	10002490	9662546	339944
438247	10420254	9408418	1011836
369923	9731509	7791747	1939762
417989	8993836	8941137	52699
512802	10178490	10975316	-796826
546390	10790345	11582898	-792553
528548	10782818	11268447	-485629
464581	10496782	9992494	504288
431726	10600909	9259519	1341390
420167	10400181	8992011	1408170
188205	5014418	3748718.25	1265699.75
341120	8346491	7092754.5	1253736.5
490493	10338709	10535887	-197178
588890	10954691	12254635	-1299944
539138	10339964	11457383	-1117419
564081	11854200	11875773	-21573
434133	9549600	9314658	234942
497842	10811673	10683676	127997
129912	3309491	2789109.25	520381.75
348553	5949054	7272949	-1323895
574537	11492891	12039969	-547078
648883	12860345	13021973	-161628
678723	13207855	13330898	-123043

523198	11782691	11170472	612219
591045	13665764	12285801	1379963
447274	10357527	9611891	745636
475965	9341345	10235357	-894012
174351	4663145	3502119.75	1161025.25
654990	13309473	13088908	220565
597635	12699764	12379394	320370
700736	13794982	13530954	264028
677282	13853945	13317004	536941
626514	13424891	12759666	665225
626621	13670280	12760986	909294
487024	11952556	10465121	1487435

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAS-CASTRO, G., QUIROS-QUIROS, E. Cogeneration of energy from sugar cane bagasse in Costa Rica: the case of El Viejo factory. **International Sugar Journal**, v.93, n.1113, p.184-90, september 1991.
- ARNOLD, K.S. Electric power factor in the cane sugar factory. **Sugar Journal**. New Orleans, v.38, n.10, p.37-49, 1976.
- ASANO, H. Impacts of time of use rates on the optimal sizing and operation of cogeneration systems. **Transactions on Power Systems**, v.7, n.4, p.1444-50, november 1992.
- ATCHISON, J.E. Rápidos adelantos en el uso del bagazo para pulpa y papel. **Sugar y Azúcar**. New York, v.63, n.4, p.44-51, 1968.
- BALBO, J.M. Geração de energia elétrica a partir da utilização do bagaço de cana-de-açúcar: comunicação da UFRA/BALBO Usina de Açúcar e Alcool, Atilio Balbo S.A. Açúcar e Alcool. Sertãozinho(SP): UFRA/BALBO Usina de Açúcar e Alcool, 1990.
- BALBO, J.M., PADOVANI NETO, A. Excedentes de energia elétrica e sobra de bagaço para diferentes concepções e sistemas de conversão e utilização de energia aplicáveis à indústria sucro-alcooleira. **Stab - Açúcar, Alcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.6, n.2, p.52-8, 1987.
- BENTE, P.F. Recent advances in the development of bio-energy systems. In: CONFERENCE 15-21 june 1984, Goteborg, Sweden. Proceedings... Barking UK:Elsevier Applied Science Publishers, 1984.
- BENZ, A.D., DEGEN, B.D., MCKIBBIN, J.R. Cogeneration in the petroleum refinery. **Chemical Engineering Progress**, v.82, n.10, p.21-7, 1986.
- BEYT, B. Using bagasse as fuel. **Sugar Journal**. New Orleans, v.39, n.8, p.19, 1977.
- BROCK, S.M., PATTERSON, D.W., RUAN, J.O. Economic feasibility cogeneration at sawmills in West Virginia. **Bulletin Agricultural and Forestry Experiment Station**, Virginia, n.697, 1987.

- CAMPOS, M.M. Alguns aspectos da cogeração de energia. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.105, n.2-3, p.36-40, 1987.
- CASTRO, G.A., QUIROS, E.Q. La cogeneración de energía a partir del bagazo de la cana de azúcar en Costa Rica: Caso del Ingenio El Viejo. **Int. Sugar, j.**, v.93, n.1113, p.184-90, 1991.
- CHATTERJEE, A. & DUTT, B.M. Economia en los derivados de la industria azucarera. **Sugar y Azúcar**. New York, v.71, n.5, p.67-8, 1976.
- CHENU, P.N.A.M. Potencial de la production de energia eletrica por centrales azucareras. **Sugar y Azucar**. México, v.75, n.2, p.55-9, 1980.
- COELHO, S.T., IENO, G.O., ZYLBERSZTAJN, D. Aspectos técnicos e econômicos da inserção da cogeração de eletricidade na matriz energética brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2, 1994, Campinas. *Anais...Campinas: Universidade Estadual de Campinas*, 1994. p.438-43.
- COSTA, F.C.V. Custos e sua redução em energia elétrica. **STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.2, n.5, p.50-53, 1984.
- CURI, P.R. Metodologia e Análise da Pesquisa em Ciências Biológicas. Botucatu. Gráfica e Editora Tipomic, 1997. 263p.
- CROCKER, S.A. Integrated farm waste management systems, anaerobic digestion of farm waste. In: MEETING, NIRD, Reading, UK. Proceedings... NIRD, Reading, UK: National Institute for Research in Dairing, 1985.
- DANTAS, R.B. Alcool e outras fontes alternativas de energia com substitutivas do petróleo. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.96, n.10, p.21-37, 1979.
- FONSECA, P.R.F. Administração da energia elétrica. **STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.1, n.3, p.49-52, 1983.
- FURINES, J.H. Pré-drying bagasse using fuel gases. **Sugar Journal**. New Orleans, v.39, n.3, p.39-40, 1976.
- GOLDEMBERG, J. Biomassa, o petróleo dos pobres. **CENBIO Notícias**. São Paulo, n.6, p2, 1999.
- GOLOBIC, P., SHERVILL, P., IVEY, W.P. Design and operation of a 7.2 MW wood waste cogeneration plant: a case history. In: _____. Energy from

- biomass and wastes. Chicago, Illinois: Institute of Gas Technology, 1989. p.651-71.
- GROUPE CHARBONNAGES DE FRANCE. La centrale thermique bagasse - charbon de bois rouge - l'industrie de la canne à sucre dans l'île de la Réunion. Ilha de Réunion: [s.n.], 1993.
- GUILHON, C.V. Bagaço de Cana – Substituto potencial do óleo combustível. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.139, n.1, p.17-21, 1982.
- HANSON, G.D. Financial analysis of a proposed large-scale ethanol cogeneration project. **Southern Journal of Agricultural Economics**, v.17, n.2, p.67-76, 1985.
- HOFFMANN, R., VIEIRA, S. Análise de regressão. São Paulo: HUCITEC/EDUSP, 1977. 339p.
- KERR, E.W. Waste fuel drying and the energy crisis. **Sugar Journal**. New Orleans, v.37, n.10, p.40-7, 1975.
- KINOSHITA, C.M. Cogeneration in the Hawaiian sugar industry. Hawaii, Honolulu: Natural Energy Institute for the Office of Energy of The United States Agency for International Development, 1990.
- KINOSHITA, C.M. Cogeneration in the Hawaiian sugar industry. **Bioresource Technology**, v.35, n.1991, p.231-7, 1991.
- KINOSHITA, C.M. Potencial for cane energy. Honolulu, Hawaii: Natural Energy Institute, 1992. (The International Perspective. Anual Report HNEI 92).
- KOELSCH, R.K., WALKER, L.P., PELLERIN, R.A. Resign considerations for a cogeneration system utilizing biogas. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1985. 27p.
- LIBONI, C.L. Racionalização e redução do custo de energia elétrica pelo controle automático de demanda. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.139, n.1, p.69-73, 1982.

- LIMAYE, D.R. Biomass cogeneration in the United States. In: Conference 15-21 June 1984, Goteborg, Sweden. Proceedings... Barking UK: Applied Science Publishers, 1984.
- LORENZ, K. Balanço energético em usinas e destilarias e excedentes energéticos. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.105, n.2-3, p.11-4, 1987.
- MARANHÃO, L.E.C. Secador individual para Bagaço. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.107, n.2, p.10-9, 1981.
- MURATA, D. & GIBSON, W. Inventário da energia para as fábricas havaianas de açúcar: 1975. **Sugar y Azúcar**. New York, v.72, n.9, p.260-5, 1977.
- MURATA, D. Inventario energético en los centrales azucareros de Hawaii - 1978. **Sugar y Azúcar**. New York, v.75, n.12, p.65-72, 1980.
- NEWTON, L. & FERNANDEZ, R. Captación de polvo en calderas alimentadas a bagazo. **Sugar y Azúcar**. New York, v.69, n.3, p.45-50, 1974.
- NOGUEIRA, L.A.H. Marco legal e barreiras à cogeração. **Stab - Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.11, n.4, p.35-38, 1993.
- OLIVEIRA, H.P. Aproveitamento do bagaço de cana como combustível nas usinas e destilarias. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.96, n.2, p.20-3, 1980.
- PAYNE, J.H. Sugar and energy losses in burned cane. **International Sugar Journal**, v.88, n.1054, p.191-3, 1987.
- PEREA, P. Valor del exceso de bagazo como combustible para generar electricidad. **Sugar y Azúcar**. New York, v.76, n.4, p.91-4, 1981.
- PIEADADE JR., C. & SOUZA, L.G. Considerações sobre tarifas sazonais de energia elétrica na agroindústria Aguardenteira. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.90, n.4, p.23-7, 1977.
- PIEADADE JR., C., SOUZA, L.G., BENEZ, S.H., FORASTIERI, W. Alguns aspectos da voltagem nas usinas de açúcar e destilarias de álcool. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.91, n.1, p.11-7, 1978.
- POOLE, A.D. Bioenergy in Brazil . Biomass users network. **Network News**, v.7, n.2, p.1-4, march-april, 1993.

- RAO, P.J.M. Establishment of bagasse based mini paper plants by sugar factories. **Indian Sugar**. New Delhi, v.25, n.6, p.527-52, 1975.
- RAO, P.J.M. Production of by product power in the sugar industry to augment rural electrification. **Indian Sugar**. New Delhi, v.27, n.10, p.695-709, 1978.
- RAZ, J. Steam and electricity cogeneration by incineration of cotton stalks in a dump grate fibrous fuel boiler. In: CONFERENCE 15-21 june 1984, Goteborg, Sweden. Proceedings... Barking UK: Elsevier Applied Science Publishers, 1984. p.202-4.
- RAZUK, P.C. Ciclo termodinâmico alternativo para a agro-indústria canavieira. **Álcool & Açúcar**, v.49, p.28-31, 1989.
- RIVIERE, M.P. Power cogeneration in Reunion Island: presented at the ISSCT Energy Commission Workshop. Berlin, Zuckerind: ISSCT, 1992.
- ROSSETTI, J..P. Introdução à Economia. São Paulo. Atlas, 1985. 744p.
- RUTHERFORD, R.D. et al. Advances in cotton in trash energy conversion. St.Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1985. 18p.
- SNEDECOR, E.W., COCHRAN, W.G. Statistical methods. 6th.Ames, Iowa: Iowa State University, 1978. 593p.
- STEVENS, W.L. Asymptotic Regression. **Biometrics**. v7, p.247-67, 1951.
- SOUZA, L.A. Considerações sobre compra de energia elétrica das concessionárias. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.1, n.3, p.45-48, 1983(a).
- SOUZA, L.G., PIEDADE JR., C., FORASTIERI, W., BENEZ, S.H. Associações de fontes de energia elétrica nas usinas de açúcar e destilarias de álcool. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v.92, n.2, p.15-9, 1978.
- VENTURINI FILHO, W.G. & ADDISON, F.C. Geração de eletricidade em usina sucro-alcooleira, viabilidade econômica. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.8, n.5/6, p.41-5, 1990.
- WALSH, J.L., ROSS, C.C. Cogeneration on a southeastern dairy St.Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1986. 25p.
- WALTER, A.C.S. Potencial energético da cana-de-açúcar. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.11, n.4, p.29-34, 1993.

- WENZL, L. The power station in the sugar factory-trends in development. **Zuckeindustrie**, v.115, n.11, p.929-38, 1990.
- WEST, T.M., MILLS, N.L. Biomass-fueled cogeneration a survey. **Forest Products Journal**, v.40, n.3, p.62-4, 1990.
- YORK, M.J. Las turbinas de alta velocidad versus las turbinas de baja velocidad. **Sugar y Azúcar**. New York, v.70, n.5, p.51-3, 1975.
- ZARPELON, F. Contribuição ao planejamento energético em usinas de açúcar e destilarias. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.4, n.12, p.17-26, 1981.
- ZARPELON, F. Panorama de cogeração em alguns países produtores de cana-de-açúcar. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.11, n.3, p.10-3, 1993.
- ZARPELON, F. Perspectivas da utilização da energia nas usinas de açúcar a álcool. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.9, n.1/2, p.52-56, 1990.