

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR JOSE ANTONIO
DALBEM E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 27, 02, 2007


ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

José Antonio Dalbem

**Análise de Correlação Comparativa entre
Práticas de Gestão e Resultados Energéticos de
Usinas de Açúcar e Álcool**

Campinas, 2007

José Antonio Dalbem

Análise de Correlação Comparativa entre Práticas de Gestão e Resultados Energéticos de Usinas de Açúcar e Álcool

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira

Campinas
2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

D15a Dalbem, José Antonio
Análise de correlação comparativa entre práticas de gestão e resultados energéticos de usinas de açúcar e álcool / José Antonio Dalbem. --Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: José Tomaz Vieira Pereira.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Gestão da qualidade. 2. Energia. 3. Açúcar - Usinas. 4. Alcool - Indústria. 5. Energia da biomassa. I. Pereira, José Tomaz Vieira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Comparative correlation analysis between management practices and energy results of sugar and alcohol plants

Palavras-chave em Inglês: Quality management, Energy development, Sugar mills, Alcohol industry, Biomass energy

Área de concentração:

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energético

Banca examinadora: Marcelo Marinho Aidar, Carla Kazue Nakao Cavaliero

Data da defesa: 27/02/2007

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

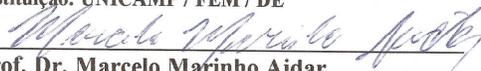
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Análise de Correlação Comparativa entre
Práticas de Gestão e Resultados Energéticos de
Usinas de Açúcar e Álcool**

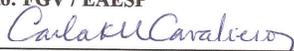
Autor: José Antonio Dalbem



Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira
Instituição: UNICAMP / FEM / DE



Prof. Dr. Marcelo Marinho Aidar
Instituição: FGV / EAESP



Prof.ª Dr.ª Carla Kazue Nakao Cavaliero
Instituição: UNICAMP / FEM / DE

Campinas, 27 de fevereiro de 2007.

Agradecimentos

À minha esposa Teresinha pelo apoio e paciência com meu retorno à Universidade, na terceira idade, em período de pleno gozo de merecida aposentadoria após 35 anos de trabalho.

Aos meus filhos José Roberto, Eloísa e Eliane pelo apoio e aprovação nos meus afazeres acadêmicos.

Ao Luís Carlos e Adilson José, agrônomos muito experientes, pelas contribuições com informações especializadas sobre gerenciamento da produção de cana-de-açúcar para os meus trabalhos acadêmicos.

Ao Paulo pela oportunidade de acesso a informações atualizadas sobre gestão de processos industriais de produção de açúcar e álcool das usinas sob sua direção industrial.

Ao Eduardo e membros da sua equipe pelos relevantes dados e informações sobre equipamentos e processos de produção de açúcar e álcool em complemento às minhas pesquisas bibliográficas.

Ao Armando e seus pares pela oportunidade de acesso a dados e informações gerenciais das usinas onde atuam como gerentes.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tomaz, o agradecimento especial pela sua paciência e carinho na orientação difícil de um aluno atípico da terceira idade, sem as facilidades e habilidades dos jovens universitários dos tempos modernos.

Resumo

O sucesso atual da cadeia sucro-alcooleira no Brasil, como largamente divulgado, tem como principal motivador o esforço tecnológico decorrente da implantação do pró-álcool na década de 70, com expressivo desenvolvimento das atividades agrícolas e industriais. Mas, considerando que as centenas de empresas do ramo sucro-alcooleiro nacionais buscam conhecimentos, equipamentos e insumos praticamente nas mesmas fontes, necessário se faz entender as razões pelas quais há uma ampla diferença de resultados em termos de eficiências de produção, tanto nas atividades agrícolas como nas industriais. As diferenças de solo, clima e cultura regionais, mesmo considerando as diferentes idades das usinas, não seriam suficientes para explicar tal variação de eficiências. Neste trabalho, pela experiência do autor como gestor em atividades de refino de petróleo, e por analogia com o observado nas atividades de refino no Brasil e no mundo, considera que diferentes práticas de gestão devem contribuir bastante para tais diferenças de resultados. Este trabalho, visando à confirmação dessa consideração, apresenta a análise de correlação comparativa entre práticas de gestão e resultados energéticos de usinas de açúcar e álcool. A análise foi aplicada em quatro usinas pré-selecionadas. A avaliação das práticas de gestão, para determinação da pontuação das usinas, seguiu os critérios da Fundação Nacional da Qualidade, mais especificamente a do Rumo a Excelência – 500 pontos, de 2006, de modo simplificado. Os resultados energéticos de eficiência de conversão de sacarose da cana-de-açúcar em produtos finais, medido pela *eficiência industrial relativa Copersucar*, e de eficiência de consumo de energia nos processos de produção de açúcar e álcool, medido pela *sobra de bagaço*, foram recebidos diretamente das usinas ou calculados a partir de dados fornecidos por elas. A pontuação obtida na avaliação simplificada pelos critérios da FNQ mostrou que as usinas pesquisadas têm bons sistemas de gestão. A análise comparativa entre as pontuações de gestão e as eficiências industriais, de conversão de açúcares e de consumo energético dos processos, mostrou que há relação direta entre elas. A eficiência de consumo dos processos aparenta ser bastante dependente da adoção ou não de estratégia de geração e venda de energia elétrica. Entretanto, considerando a pequena amostra de apenas quatro usinas, essas afirmações não podem ser generalizadas. Para assegurar confiabilidade nas conclusões das análises ela deve ser aplicada em uma amostragem maior de usinas.

Palavras Chave: Gestão; Cana-de-açúcar; Açúcar; Álcool; Energia; Eficiência; Usinas.

Abstract

The current success of sugar and alcohol plants in Brazil, as widely diffused, was primarily encouraged by the technological effort secondary to the establishment of pro-alcohol in the 1970s, with remarkable development of agricultural and industrial activities. However, considering that the hundreds of national companies dealing with sugar and alcohol production search for knowledge, equipments and supplies nearly in the same sources, there is the need to understand the reason why there is a wide difference in production efficiency results, both in agricultural and industrial activities. Even considering the different periods of establishment of plants, the differences in regional soil, weather and culture would not be enough to explain these variable efficiencies. Considering the experience of the author as manager of petroleum refinement activities, and by comparison with performance observed in refinement activities in Brazil and in the world, the present study considers that different management practices should have appreciate contributions for such differences in results. This study presents a comparative correlation analysis between management practices and energy results of sugar and alcohol plants, with a view to confirm this consideration. The analysis was applied to four pre-selected plants. Evaluation of the management practices to determine the score of plants followed the criteria of the National Quality Foundation (FNQ), more specifically of Aiming at Excellence – 500 points, in 2006, in simplified manner. The energy results of efficiency of converting the sucrose from sugar cane in final products, evaluated in *Copersucar relative industrial efficiency*, and of relative energy consumption in the processes of sugar and alcohol production, evaluated in *surplus bagasse*, were directly supplied by the plants or calculated from data provided by them. The score achieved in the simplified evaluation by the FNQ criteria demonstrated that the plants investigated have good management systems. Comparative analysis of management scores with efficiency of sucrose conversion and surplus bagasse demonstrated a direct correlation among them. The relative energy consumption in industrial process seems to be quite a lot dependent of strategies for to generate and sell electric energy. However, considering the small sample of only four plants, these statements cannot be generalized. The analysis should be applied to a larger sample of plants in order to assure its reliability in the conclusions achieved.

Key words: Management, Sugar cane, Sugar, Alcohol, Energy, Efficiency, Mills.

Lista de Ilustrações

Figura 1 -	Fluxograma básico de gestão	6
Figura 2 -	Conteúdo energético básico da cana-de-açúcar	18
Figura 3 -	Fluxograma de produção de derivados da cana-de-açúcar	19
Figura 4 -	Fluxo de massa no processo industrial de usinas de açúcar e álcool	20
Figura 5 -	Composição dos ternos de moendas	25
Figura 6 -	Esquema de disposição dos ternos de moendas mostrando sistema de embebição	25
Figura 7 -	Calha Donnelly	28
Figura 8 -	Sistemas de co-geração	45
Figura 9 -	Concepção de co-geração em usinas de açúcar e álcool, com caldeiras de 21 kgf/cm ²	46
Figura 10 -	Concepção de co-geração em usinas de açúcar e álcool, com caldeiras de pressão maior que 42 kgf/cm ²	47
Figura 11 -	Distribuição percentual do consumo de diesel	55
Figura 12 -	Geração, venda e consumo de energia elétrica por tonelada de cana processada (kWh/tc)	63
Figura 13 -	Indicadores de avaliação de gestão dos critérios 1, 2, 5, 6 e 7	72
Figura 14 -	Avaliação % total dos aspectos para todos os itens avaliados	73
Figura 15 -	Avaliações dos aspectos dos itens dos critérios 1 e 2	75
Figura 16 -	Avaliações dos aspectos dos itens dos critérios 5 e 6	75
Figura 17 -	Avaliações dos aspectos dos itens do critério 7	76
Figura 18 -	Pontuação de gestão (%) versus eficiência industrial relativa (%)	81
Figura 19 -	Pontuação de gestão (%) versus economia de bagaço (%)	82
Figura 20 -	Economia de bagaço versus consumo específico de vapor	82
Figura 21 -	Consumos específicos de vapor versus energia elétrica	83
Figura 22 -	Fluxograma para produção de açúcar e álcool	106
Figura 23 -	Fluxograma de balanço energético sem geração e venda de energia	107
Figura 24 -	Fluxograma de balanço energético com geração e venda de energia	107

Lista de Tabelas

Tabela 1 -	Tipos de solos e produtividades agrícolas esperadas e reais (fonte: agrícola Rio Claro)	50
Tabela 2 -	Alocação de insumos por processos e atividades. Elaborada pelo autor	52
Tabela 3 -	Consumo global de diesel por finalidade de aplicação. Elaborada pelo autor	54
Tabela 4 -	Consumo diesel corte-carregamento-transporte (CCT). Elaborada pelo autor	54
Tabela 5 -	Consumo total de diesel no plantio, colheita e cultivo. Elaborada pelo autor	54
Tabela 6 -	Dados de 11 concepções de co-geração em usinas de açúcar e álcool Elaborado pelo autor	58
Tabela 7 -	Indicadores de gestão e energéticos das usinas. Elaborada pelo autor	71
Tabela 8 -	Dados e cálculos de eficiências de conversão de açúcares. Elaborada pelo autor	78
Tabela 9 -	Planilha para coleta de dados relativos às eficiências energéticas das usinas	96
Tabela 10 -	Planilha para avaliação do item 6.1: Pessoas - Sistemas de trabalho	104
Tabela 11 -	Planilha para avaliação do item 8.3: Resultados - Resultados relativos às pessoas	105

Lista de Abreviaturas e Siglas

AP	Autoprodutor
ATR	Açúcar Redutor Total
BEM	Balço Energético Nacional
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
<i>SWOT</i>	<i>Strength, weakness, opportunity, threat</i>
SMDG	Sistema de Medição de Desempenho Global
<i>SPSS</i>	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
IAA	Instituto do Açúcar e do Álcool
Copersucar	Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo
<i>IDPMSa</i>	<i>Integrated and Dynamic Performance measurement System</i>
PIE	Produtor Independente de Energia
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
Cenbio	Centro Nacional de Referência em Biomassa
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
VN	Valor Normativo
Kgvp	Kg de vapor
tc	tonelada de cana-de-açúcar
Kgpa	Kg de palha
kgbg	kg de bagaço

Sumário

1 Introdução	1
1.1 Breve histórico	1
1.2 Justificativa de escolha do tema	2
1.3 Objetivo da pesquisa	3
1.4 Delimitação de abordagem	3
1.5 Premissas assumidas para a análise de correlação comparativa	4
1.6 Metodologia de pesquisa	4
2 Revisão da Literatura	5
2.1 Considerações sobre normas ISO de gestão	5
2.2 Sistema de Medição de Desempenho Organizacional – SMDO	6
2.3 O sistema brasileiro de avaliação e premiação da FNQ	12
2.4 Considerações sobre a atividade canavieira no Brasil	14
2.5 Processos industriais de produção de açúcar e álcool	17
2.5.1 Aspectos gerais	17
2.5.2 Recepção, preparo e moagem da cana-de-açúcar	21
2.5.3 Tratamento do caldo	29
2.5.4 Fabricação do açúcar	31
2.5.5 Fabricação do álcool	33
2.6 Co-geração em usinas de açúcar e álcool	37
2.6.1 Evolução do uso do bagaço para co-geração de energia	37
2.6.2 Conceitos e características do processo de co-geração	44
3 Análises sobre produção de cana-de-açúcar e co-geração em usinas	49
3.1 Análise energética da produção de cana-de-açúcar	49
3.1.1 Introdução	49
3.1.2 Principais processos agrícolas	50
3.1.3 Coleta e tratamento de dados para a análise	51
3.1.4 Consumos de diesel consolidados e alguns indicadores de resultados	54
3.1.5 Considerações e comentários sobre resultados e práticas agrícolas	55
3.2 Análise de desempenho de concepções de co-geração em usinas de açúcar e álcool	57
4 Metodologia de desenvolvimento da dissertação	65
4.1 Escolha das usinas para pesquisa e análise	65
4.2 Escolha do método e dos indicadores de avaliação de gestão	65

4.3 Avaliação de gestão: preparação e realização	67
4.4 Escolha dos indicadores de resultados energéticos	68
4.5 Obtenção dos indicadores de resultados energéticos	69
4.6 Considerações sobre indicadores de conversão de açúcares e energéticos	70
5 Resultados e comentários	71
5.1 Resultados das avaliações de gestão	71
5.1.1 Aspectos gerais das avaliações	71
5.1.2 Pontuações e comentários dos itens avaliados	74
5.1.3 Considerações sobre as avaliações	76
5.2 Resultados energéticos	77
5.2.1 Eficiência de conversão de açúcares	77
5.2.2 Consumo energético dos processos	79
5.2.3 Considerações sobre estratégias energéticas	80
5.3 Análise de correlação comparativa	81
5.3.1 Gestão x eficiência de conversão de sacarose e outros açúcares	81
5.3.2 Gestão x consumo energético dos processos	81
5.3.3 Consumos específicos de vapor e de energia elétrica	83
6 Considerações Finais	85
6.1 Considerações sobre indicadores de gestão	85
6.2 Considerações entre indicadores de gestão e energéticos	86
6.3 Algumas conclusões e sugestões	87
Apêndices	93
Apêndice I - Participação do autor em administração e gestão	93
Apêndice II - Planilhas de dados para determinação das eficiências energéticas das usinas	96
Apêndice III - Conteúdo de requisitos dos aspectos dos itens de gestão avaliados	97
Apêndice IV - Exemplos de planilhas para avaliação de Enfoque e Aplicação e de Resultados	104
Apêndice V - Figuras referentes ao item 3.2 (Análise de concepções de cogeração)	106

1 Introdução

1.1 Breve histórico

A decisão de desenvolvimento da presente dissertação decorreu da intenção do autor de usar sua experiência gerencial pela atuação por três décadas na área de refino da Petrobras, onde participou diretamente da evolução dos sistemas de gestão desde o início da década de 1970¹. Nesse sentido, com base na publicação *Rumo a Excelência - 2006*, da Fundação Nacional de Qualidade – FNQ e em dados e informações gerenciais e técnicas de pesquisa de campo em quatro usinas o autor apresenta uma análise de correlação comparativa entre práticas de gestão e resultados energéticos globais de usinas de açúcar e álcool. Um motivador complementar para a elaboração do trabalho envolvendo usinas de açúcar e álcool foi a familiaridade do autor com as atividades de produção de cana-de-açúcar e seu processamento industrial por razões peculiares de convivência nelas e interações frequentes com técnicos e gerentes do referido ramo de atividade.

A dissertação foi composta por cinco capítulos, sendo o primeiro capítulo dedicado à Introdução.

No Capítulo 2 foi realizada a revisão bibliográfica dos assuntos gestão e energia, incluindo a descrição sucinta da ambiência gerencial vivenciada pelo autor, detalhada no Apêndice 1 com o relato do aprendizado obtido nesse processo. Foram feitas citações de aspectos gerais e relevantes de algumas normas ISO relacionadas com gestão, com ilustrações através de figuras especificamente elaboradas para tal finalidade. Em seguida foram comentados alguns aspectos de maior interesse relacionados com os Sistemas de Medição de Desempenho Organizacionais – SMDO obtidos na bibliografia específica pesquisada, cujo principal objetivo foi mostrar que o sistema de avaliação adotado no presente trabalho, da FNQ, é considerado adequado e aplicável. Foram tratadas também no Capítulo 2 as referências usadas para conhecimento dos processos industriais adotados pelas usinas em geral, similares aos das usinas pesquisadas. Esse conhecimento serviu de base para cálculos e verificações de consistência dos resultados energéticos de interesse direto e indireto para a análise objeto dessa dissertação.

¹ No início do Capítulo 2, dedicado à revisão bibliográfica, e no Apêndice I, com mais detalhes, a experiência gerencial do autor é relatada de maneira resumida, mas suficiente para caracterizar as principais fases de evolução dos sistemas de gestão dos quais participou ativamente na sua carreira profissional.

O Capítulo 3 foi dedicado ao desenvolvimento de duas análises específicas: 1) Análise energética da produção de cana-de-açúcar; e, 2) Análise de desempenho de concepções de cogeração em usinas de açúcar e álcool.

No Capítulo 4 foi descrita a metodologia de realização da pesquisa.

No Capítulo 5 foram apresentados e comentados os principais dados, informações e resultados das avaliações de gestão e energéticos das usinas participantes, fundamentais para a análise objeto da dissertação, com tabelas e gráficos para verificação das relações entre as práticas de gestão e eficiências de conversão de sacarose e entre as práticas de gestão e consumos energéticos nos processos industriais.

No Capítulo 6 foram efetuadas as considerações finais com comentários sobre indicadores de gestão e energéticos, com conclusões e sugestões de melhorias para realização de trabalhos similares futuros.

1.2 Justificativa de escolha do tema

A importância da energia renovável a partir das crises do petróleo, em particular a energia gerada a partir da cana-de-açúcar com uso do álcool como combustível automotivo e do bagaço para geração termoelétrica, justifica a escolha do tema. Pereira (2005) ressalta a importância da energia renovável em substituição à energia de origem fóssil, fazendo inclusive um prognóstico preocupante quanto à necessidade de mudança nos hábitos de vida para redução do consumo *per capita* de energia, afirmando: *A study of supply alternatives seems to indicate that a substantial reduction in demand will be necessary in order to achieve sustainability in the future*².

Outro aspecto que acentua essa escolha com foco na gestão é o fato do ramo sucroalcooleiro ter experimentado um expressivo desenvolvimento tecnológico com a implantação do Proálcool, sendo considerado atualmente líder mundial na produção de açúcar e álcool, sem aparente contrapartida de mesma intensidade no desenvolvimento dos seus sistemas de gestão. A análise de correlação comparativa entre práticas de gestão e resultados energéticos de usinas de açúcar e álcool apresentada visa à comprovação, ou não, dessa afirmação. Marcos (2005) constatou que entre 37 usinas pesquisadas no Estado de São Paulo, apenas 19 % delas fazem uso dos princípios da Gestão pela Qualidade Total e das normas do *International Organization for*

Standardization - ISO Série 9000, como referenciais para os seus sistemas de gestão. E que apenas 17 % dessas usinas usam controle estatístico de processos como ferramenta gerencial.

São citadas nominalmente vinte e uma usinas com certificação ISO 9001 (Euripa, 2001a apud Shikida, 2002, p. 129 in Moraes, 2002), distribuídas nos estados de São Paulo (14), Paraná (3), Minas Gerais (2), Mato Grosso do Sul (1) e Goiás (1)³, quantidade pequena relativamente ao total de usinas instaladas no país. Essas constatações, além de outras similares apresentadas na pesquisa, sugerem que a maioria das empresas do ramo sucro-alcooleiro têm espaço para desenvolvimento de seus sistemas de gestão com conseqüentes melhorias de seus resultados.

1.3 Objetivo da pesquisa

O objetivo da pesquisa é a apresentação de análise de correlação comparativa entre práticas de gestão e resultados energéticos de usinas de açúcar e álcool. O sistema de gestão é avaliado a partir de dados e informações obtidos diretamente das usinas, focados nas práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho. Os resultados energéticos de conversão de sacarose e outros açúcares em produtos finais e de consumo energético dos processos industriais foram obtidos, direta ou indiretamente, a partir de dados e informações fornecidos pelas usinas participantes da pesquisa. A análise apresentada nessa dissertação visa confirmar, ou não, a existência de relação direta entre práticas de gestão e resultados energéticos.

1.4 Delimitação de abordagem

Na presente dissertação o autor abordou mais profundamente os aspectos relacionados com gestão, pesquisando e avaliando as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho das usinas selecionadas para avaliação objetiva mensurada dos seus sistemas de gestão, visando à análise comparativa objeto da pesquisa. Quanto aos resultados energéticos não houve abordagem crítica de tratamento dos seus fatores de influência, senão apenas o entendimento dos indicadores informados e a verificação de suas consistências.

² Estudo de alternativas de suprimento parece indicar que uma substancial redução na demanda será necessária para alcançar a sustentabilidade no futuro.

³ SP: Alta Mogiana, Bonfim, Colombo, Ester, Jardest, Mandu, MB, Moema, Nova América, Pioneiros, Santa Cruz, Santa Elisa, São Carlos e São Francisco; PR: Ivaí, Sabarálcool e Perobálcool; MG: Sanagro e Copródia; MS: Debrasa; e, GO: Jalles.

1.5 Premissas assumidas para a análise de correlação comparativa

1.5.1 Consideração de que as práticas de gestão das usinas pesquisadas não são suficientes para alcançar 500 pontos em uma avaliação formal pelos Critérios de Excelência da Fundação Nacional da Qualidade, mesmo sabendo que algumas delas têm bons sistemas de gestão, alguns alinhados com os requisitos das normas ISO série 9000. Essa premissa levou à decisão de adoção dos critérios da publicação *Rumo a Excelência – 500 pontos*, de 2006 (FNQa, 2006), como referencial de avaliação dos níveis de práticas de gestão para a análise de correlação comparativa.

1.5.2 Consideração de que o desvio da pontuação obtida pelo processo simplificado de avaliação de gestão relativamente ao processo formal de avaliação da FNQ é pequeno e aceitável para o objetivo da dissertação. Mesmo considerando que a avaliação pelo processo simplificado foi feita apenas com base em entrevistas de alguns gerentes representativos do corpo gerencial das usinas. Essa premissa pôde ser assumida para a validação da análise apresentada pelo fato do autor ter bom conhecimento teórico e prático do processo de avaliação pelos critérios da FNQ⁴. Essa premissa, entretanto, exige que a aplicação da metodologia proposta seja feita por pesquisador devidamente preparado para uso do referencial adotado da FNQ.

1.6 Metodologia de pesquisa

A pesquisa para a análise objeto desta dissertação é exploratória, hipotética e dedutiva. Há possibilidades de testes de comprovação ou refutação dos aspectos pesquisados, no mesmo ambiente do experimento ou outros similares. Detalhes sobre o desenvolvimento da pesquisa estão apresentados no capítulo 4.

No texto da dissertação estão apresentados apenas os resultados das avaliações de gestão feitas pelo autor. O registro das entrevistas de campo com os gerentes das usinas pesquisadas para avaliação das práticas de gestão foi disponibilizado como documento confidencial apenas para os membros da Banca Examinadora, cumprindo negociação do autor com a direção das usinas participantes na pesquisa.

⁴ O autor coordenou a elaboração de dois relatórios de autoavaliação em duas diferentes refinarias de petróleo como executivo principal delas e atuou como líder em avaliações internas na empresa. Em adição, deve ser considerada a sua atualização sobre o Modelo de Gestão da FNQ pelo estudo dedicado ao assunto através das suas publicações revisadas anualmente.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Considerações sobre normas ISO de gestão

Dentre as normas ISO que tratam de gestão, neste item são resumidos aspectos de interesse de duas delas, pela relevância considerada pelo autor para essa dissertação. São consideradas as seguintes normas: ISO/TC 176/SC 2/N 544R2. (2003) (*Guidance on the Concept and Use of the Process Approach for management systems*) e NBR ISO 9004:2000.(2000), de dezembro de 2000 (Sistemas de gestão da qualidade - diretrizes para melhorias de desempenho).

A primeira norma - ISO/TC 176/SC 2N 544R2 (2003) - é um guia para a família ISO 9000 sobre Qualidade, além de ser guia também para as normas da família ISO 14000 sobre Meio Ambiente, assim como para normas de Segurança e Saúde Ocupacional, de Risco de Negócios e de Responsabilidade Social. Essa primeira norma conceitua o termo processo e cita os principais benefícios da abordagem por processos. Cita também os quatro principais processos de gestão, qualificando cada um deles. Uma das figuras mostra a importância da mudança da organização funcional para a organização por processos. Essa mudança foi vivenciada concretamente pelo autor dessa dissertação com constatação de nítida diferença de resultados entre a postura das pessoas de trabalhar “para” (organização funcional) e a postura de trabalhar “com” (organização por processos). A norma trata de forma objetiva da implementação da abordagem de processo, com subitens detalhados sobre identificação de processos da organização e planejamento de projeto e implementação desses processos.

A segunda norma, NBR ISO 9004:2000, (2000), traz grandes contribuições para aprimoramento da gestão, principalmente se forem adotados, com estratégia adequada, os aspectos relevantes dos Capítulos: 4 (Sistema de Gestão da Qualidade); 5 (Responsabilidade da direção); 6 (Gestão de recursos), 7 (Realização do produto) e 8 (Medição, análise e melhoria). Nessa dissertação não serão citados os aspectos considerados relevantes pelo autor, pois a relevância é relativa à ambiência de cada organização e de suas estratégias de melhorias de gestão. Por se tratar de norma não certificadora ela não impõe adoção de nenhum aspecto, colocando tudo na forma de diretrizes para melhorias.

A Figura 1 - Fluxograma básico de gestão - foi elaborada com base na única figura presente no texto da ISO 9004, e mostra as relações entre os processos de modo sistêmico incluindo as principais Partes Interessadas da organização.

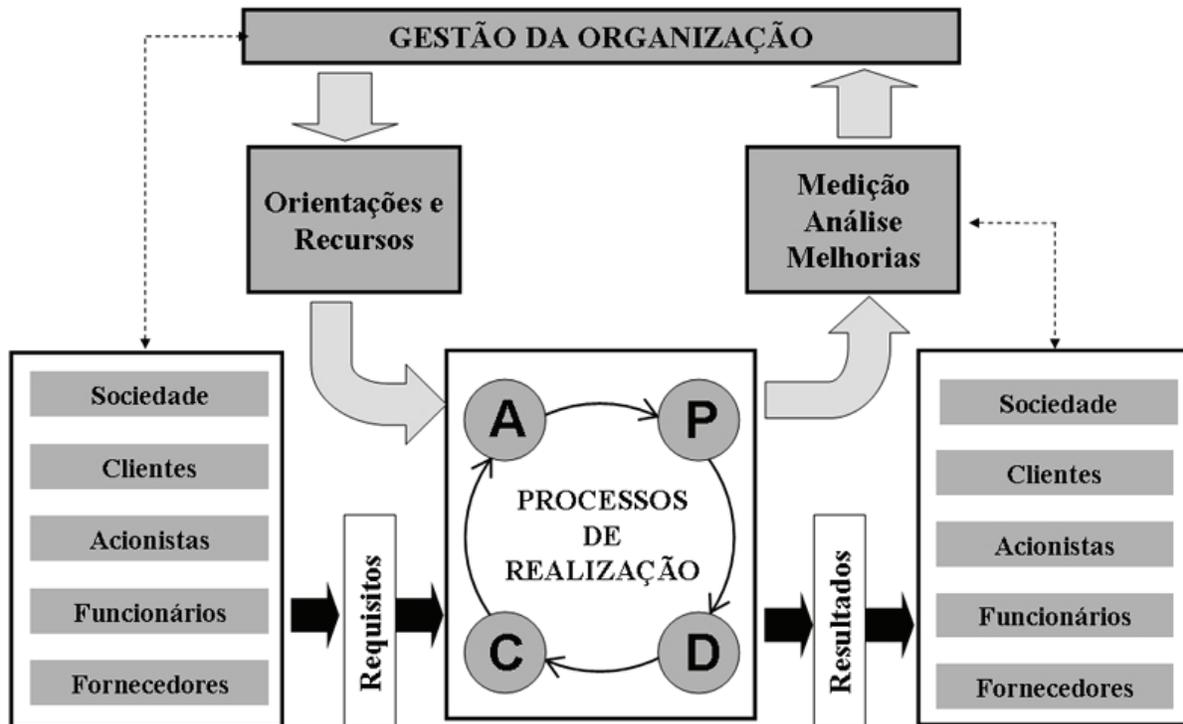


Figura 1 - Fluxograma básico de gestão. Elaborada pelo autor.

2.2 Sistema de Medição de Desempenho Organizacional – SMDO

Maximiano (2004) credita a Fayol (1841-1925) as cinco atribuições básicas da Função Administrativa das empresas: planejamento, organização, comando, coordenação e controle. O autor cita que já em 1930 os autores ingleses L. Gullick e Lyndall Urwick propuseram a sigla *POSDCORB*, iniciais em inglês para resumir as funções relacionadas com a administração e o papel do gerente: *planejamento, organização, alocação de pessoas, direção, coordenação, controle e orçamento*. Com o uso consagrado do processo administrativo essas funções se reduziram a quatro expressões: *planejamento, organização, direção (ou liderança) e controle*.

No Curso Básico de Gerência do Programa de Desenvolvimento Gerencial da Petrobras, no final dos anos 70 (do qual o autor participou), essas funções gerenciais básicas foram enfatizadas, acrescidas da função *desenvolvimento*. Foi ensinado, então, que as cinco funções gerenciais básicas seriam: planejamento, organização, direção, controle e *desenvolvimento*. Além dessas funções dos gerentes, foi enfatizada a importância dos instrumentos a serem usados pelos gerentes no exercício dessas funções, principalmente *delegação, comunicação, coordenação e*

motivação. Foi conceituada também a diferença entre *funções* e *papéis* dos gerentes: *funções* sendo compromissos permanentes e estruturais, de aplicação compulsória pelos gerentes, e *papéis* sendo transitórios e conjunturais, de aplicação apenas conveniente conforme as circunstâncias. Alguns *papéis* mais comuns desempenhados pelos gerentes e citados como exemplos foram o de orientador, de conselheiro, de juiz, de professor, de psicólogo, de amigo, etc., que podem ser assumidos em circunstâncias peculiares.

Maximiano (2004) apresenta o *Ciclo Shewart* ou *Ciclo Deming*, mais divulgado como *Ciclo PDCA*, detalhando cada um dos seus quatro componentes: P – *plan* (planejar); D – *do* (executar); C – *check* (verificar, avaliar) e A – *action* (atuar).

A análise das etapas do ciclo PDCA comparativamente às cinco funções básicas de gerência permite concluir que o ciclo PDCA é uma abordagem sistematizada das cinco funções gerenciais básicas. *Plan* no PDCA inclui planejar e preparar para executar, podendo então se afirmar que contém ao mesmo tempo as funções de *planejamento e organização*. O *D* no PDCA, com o significado de executar, pode ser considerado como a função de *direção*. *Check* no PDCA pode ser associado à função de *controle* – medir, analisar e avaliar para decidir e atuar. E, finalmente, *Action* no PDCA pode ser associado a *desenvolvimento*, pois essa etapa tem o significado de decidir e atuar para melhorar, que nada mais é que promover o desenvolvimento.

Com as considerações sucintas acima, pois o assunto é tratado academicamente de forma muito mais ampla por outros autores, pode ser feita uma associação do Sistema de Medição do Desempenho Organizacional – SMDO com um amplo PDCA. Pois o SMDO visa basicamente definir (P) e medir (D) as variáveis de gestão relacionadas com todas as partes interessadas da organização, analisar e avaliar (C) essas variáveis medidas sob a ótica de causa e efeito (entradas e saídas dos processos) para decisão e implementação de melhorias contínuas ou com salto de desenvolvimento (A), na busca da satisfação conciliada de todas as partes interessadas.

O Modelo de Excelência da Gestão da FNQ enfatiza o uso sistematizado do ciclo PDCA com enfoque sistêmico. Adota doze fundamentos de gestão consagrados e periodicamente ajustados pela análise crítica de sua aplicação em organizações de desempenho de classe mundial. Esses fundamentos embasam os seus oito Critérios de Excelência. Assim, o Modelo de Excelência da FNQ pode ser considerado um SMDO dentre muitos outros. Figueiredo (2003) conclui, em sua pesquisa, que o sistema da FNQ é o mais adequado na visão dos usuários de

SMDO de empresas brasileiras de desempenho de classe mundial e com isso reforça a decisão de uso do sistema da FNQ para avaliação de gestão das usinas pesquisadas.

O Modelo de Excelência da FNQ foi o primeiro na avaliação conduzida por Figueiredo; o segundo e terceiro sistemas, com adequações próximas do sistema da FNQ, são o *BSC – Balanced Scorecard* (Kaplan e Norton, 1997), de aplicação muito intensa no meio empresarial, e o *IDPMS - Integrated Dynamic Performance Measurement System* (Ghalayni, Noble e Crowe, 1996).

Martins (1999) analisou a aplicação de SMDO com procedimento de pesquisa, tipo estudo de caso, em cinco empresas de manufatura selecionadas. Como parece ser a realidade também para as empresas do ramo sucro-alcooleiro, a pesquisa constatou, em 1999, que nos últimos vinte anos as empresas de manufatura passaram por mudanças organizacionais predominantemente de cunho tecnológico sem o devido acompanhamento do sistema de gestão. O estudo propõe um modelo para estruturação do uso das informações geradas pelo SMDO, incorporando vários critérios competitivos, como também é o caso do sistema da FNQ. A pesquisa mostrou que, nos casos estudados, o sistema de medição de desempenho é voltado, primordialmente, para o controle e dirigido mais para a média e alta gerência, sem relevância para os níveis de supervisão. Ele enfatizou a importância de adoção da Gestão pela Qualidade Total - GQT e da Estratégia de Manufatura nas organizações de produção como fundamentais para um SMDO consistente e de valor para controle e tomada de decisões de gestão.

Segundo Martins (1999), a GQT tem três componentes muito importantes:

1. Gestão pelas Diretrizes;
2. Gestão por Processos;
3. Gestão da Rotina Diária de Trabalho.

A primeira é promotora da integração vertical, enquanto as duas outras são promotoras da integração horizontal. Esses três sistemas de gestão são apresentados de forma bastante prática nas publicações de Campos (1996 e 2004), muito usadas por grandes empresas do ramo siderúrgico no Brasil e também pela Petrobras.

Quanto à Estratégia de Manufatura, Martins (1999) enfatiza a importância de três abordagens:

1. Competição pelas capacidades, com foco nos fatores críticos de sucesso;

2. Análise estratégica interna e externa do negócio e dos produtos, aparentemente com aplicação da ferramenta *SWOT* ou similar;
3. Adoção das melhores práticas de gestão, com base em *benchmarking* (referenciais de excelência). Esta última abordagem está relacionada com os SMDO, entre eles o da FNQ.

Martins (1999) mostra a evolução significativa do número de artigos sobre SMDO publicado nos Periódicos e Anais de Congressos no mundo e no Brasil. O autor apresenta vinte e um SMDO propostos na década de 90, com seus respectivos autores, sete deles considerados mais relevantes, dentre os quais o *Prêmio da Qualidade “Malcolm Baldrige”* (USA), que serviu de modelo de referência para criação da FNPQ em outubro de 1991. Dentre os sete, um outro sistema citado, muito conhecido e aplicado é o *Balanced Scorecard* (Kaplan e Norton, 1997). Trata-se de um sistema gerador de indicadores desdobrados a partir das perspectivas das Partes Interessadas da Organização, constituindo-se assim um SMDO de abrangência estratégica, tática e operacional.

Aidar (2003) trata da institucionalização da gestão e do desempenho organizacional por meio do Prêmio Nacional da Qualidade - PNQ. Ele apresenta a disseminação do modelo de PNQ por diferentes regiões, setores e tipos de organizações, investigando o papel dos principais atores e agentes envolvidos no processo. Explora, buscando legitimação do modelo, como ele vem agregando e disseminando práticas gerenciais consideradas inovadoras que são avidamente absorvidas pelas organizações. O autor comenta que iniciou a pesquisa com a perspectiva de investigar a relação entre a adesão das empresas brasileiras ao modelo PNQ e os resultados alcançados por essas empresas. Essa primeira intenção da pesquisa decorreu do fato de que, conforme pesquisa do *National Institute of Standardization and Technology - NIST*, empresas premiadas pelo modelo *Malcolm Baldrige National Quality Award- MBNQA* dos EUA obtinham expressiva valorização de suas ações dentre as maiores empresas da *Standard & Poor's*. Com o amadurecimento da pesquisa considerou mais importante compreender o porquê e como o modelo do PNQ influencia tanto algumas organizações e como ele se dissemina tão velozmente entre diversos setores da atividade econômica.

Aidar, após intensa consulta bibliográfica, considera a atuação do PNQ como um modelo de institucionalização da gestão de diversas empresas e setores brasileiros. Considera que o mecanismo do PNQ influencia de forma mais refinada do que ocorre no caso das certificações pelas normas ISO e outras similares, que atendem a parâmetros exclusivamente normativos e,

portanto, prescritivos. Enquanto os Critérios de Excelência do PNQ procuram ser bastante genéricos e mesmo não prescritivos, atendendo assim a uma grande diversidade de organizações e possibilitando um grau de liberdade e criatividade entre as práticas de gestão apresentadas.

Aidar faz sua análise considerando cinco dimensões que se complementam: *modelo*, *processo*, *difusão*, *atores e exemplos*. Focando o *modelo*, analisa os critérios do PNQ; com foco no *processo*, analisa a FPNQ (atualmente FNQ, desde junho de 2005) e o processo de avaliação; com foco na *difusão*, analisa como o modelo se difundiu regional e setorialmente; com foco nos *atores*, analisa o perfil e opinião dos examinadores; e, finalmente, com o foco em *exemplos*, analisa o isomorfismo entre as empresas premiadas.

A experiência do autor dessa dissertação com a evolução dos sistemas de gestão confirma afirmação de Aidar (2003) de que a década de 1990 foi internacionalmente marcada pelo crescimento da utilização nas empresas de padrões, certificações e sistemas da qualidade, gestão ambiental e até normas de segurança e saúde no trabalho, citando as respectivas normas relacionadas. E que paralelamente, e de forma até compulsória, surgiram os prêmios nacionais da qualidade com o objetivo de estimular a modernização e competitividade dos negócios nos contextos nacional e internacional. Aidar cita como principais o *Prêmio Deming*, no Japão, em 1951; o *Prêmio Malcolm Baldrige*, nos EUA, em 1987; o *Prêmio Europeu da Qualidade*, em 1991 e, por fim, o *Prêmio Nacional da Qualidade*, em junho de 1991.

Inicialmente os Prêmios se pautaram nos modelos de Gestão da Qualidade Total e excelência nos negócios. Aidar comenta que embora os Prêmios tenham sido inspirados nos programas de qualidade, em seguida foram direcionados para a gestão integrada da empresa. Comenta de maneira bastante extensa a evolução da gestão da qualidade. Dentre seus comentários destaca a atuação do SEBRAE, em 2002, de lançamento do Programa da Qualidade Total para Micro e Pequenas Empresas, acompanhados de intenso programa de educação e treinamento para grupos de doze empresas simultaneamente. Vale também citar a grande quantidade de Prêmios estaduais e regionais surgidos como decorrência da criação e incisiva atuação do Prêmio Nacional da Qualidade instituído pela FNQ.

Figueiredo (2003) desenvolveu um modelo teórico para auxiliar a autoavaliação de SMDO, com extensa revisão bibliográfica, usando para sua pesquisa quatro empresas brasileiras consideradas líderes nas suas respectivas áreas de atuação para identificar a satisfação dos usuários de SMDO com os sistemas adotados nas suas empresas. Essas empresas, cujos

funcionários responderam à pesquisa, foram vencedoras do Prêmio Nacional de Qualidade. Na revisão bibliográfica o autor citou 128 atributos de 33 SMDO identificados. Dentre os 33 SMDO identificados, 9 deles foram selecionados para foco de sua pesquisa, dos quais apresenta as principais características, listando as suas principais Forças e Fraquezas. Dentre esses 9 SMDO encontra-se o Sistema de Medição de Desempenho Global - SMDG, da FNQ, gerado como resultado do Comitê Temático de Medição do Desempenho Global constituído pela FNQ em 1999.

Após citar os fundamentos da autoavaliação organizacional constatados na literatura, bem como a definição dos principais conceitos, apresenta o Modelo Inicial usado na sua pesquisa, baseado e validado com citação das bibliografias específicas revisadas para tal finalidade. Ainda com base na extensa revisão bibliográfica elaborada selecionou dez *Atributos Normativos* (construtos), para os quais são listados os atributos (específicos) identificados na respectiva literatura de origem. Com base nesses *atributos identificados* na literatura definiu as *variáveis observáveis* de cada um dos *Atributos Normativos* abaixo citados, sobre os quais foi conduzida a pesquisa.

- a. Aprendizado Organizacional, com 7 variáveis observáveis.
- b. Análise Crítica, com 7 variáveis observáveis.
- c. Balanceamento, com 5 variáveis observáveis.
- d. Clareza, com 10 variáveis observáveis.
- e. Dinamismo, com 3 sub-construtos e um total de 15 variáveis observáveis.
- f. Integração, com 6 variáveis observáveis.
- g. Alinhamento, com 11 variáveis observáveis.
- h. Participação, com 5 variáveis observáveis.
- i. Relacionamento causal, com 5 variáveis observáveis.
- j. Satisfação Geral dos Usuários do SMDO, com 3 variáveis observáveis.

Figueiredo (2003), após estudo e preparação da pesquisa, submeteu um questionário respondido pela internet por 213 participantes das cinco empresas selecionadas, cujas respostas foram tratadas com uso do *software* de análise multivariada *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS – versão 7.5), de propriedade do Instituto Militar de Engenharia. O extenso tratamento estatístico, após teste piloto, permitiu importantes conclusões, dentre as quais a Matriz de Relacionamento resultante da avaliação pontuada de cada um dos nove *Atributos Normativos*

(o décimo atributo é o pesquisado: *Satisfação dos Usuários*) para cada um dos nove SMDO pesquisados. As três maiores pontuações para o atributo *Satisfação dos Usuários* foram para o SMDG da FNQ (55 pontos), *BSC* (47 pontos) e *IDPMSa (Integrated and Dynamic Performance measurement System)* (45 pontos). Dentre os *atributos* mais pontuados destacaram-se o *Balanceamento* (53 pontos), o *Alinhamento* (47 pontos) e o *Aprendizado Organizacional* (42 pontos).

Os resultados da Matriz de Relacionamento acima citados demonstram que o SMDO da FNQ foi o mais pontuado em temas de satisfação dos usuários dentre os principais SMDO pesquisados. Isso confirma o acerto da escolha dos critérios da FNQ para avaliação das práticas de gestão das usinas pesquisadas.

2.3 O sistema brasileiro de avaliação e premiação da FNQ

A Fundação para o Prêmio Nacional da Qualidade – FPNQ foi criada em outubro de 1991, como entidade sem fins lucrativos, por 39 organizações privadas e públicas, para administrar o Prêmio Nacional da Qualidade - PNQ e todas as atividades decorrentes do processo de premiações, em todo o território nacional, além de fazer a representação institucional externa do PNQ nos fóruns internacionais. Ao completar 14 ciclos de premiação em 2005, a Fundação lança projeto pioneiro cujo objetivo é tornar-se, até 2010, um dos principais centros brasileiros de estudo, debate e irradiação de conhecimento sobre Excelência em Gestão. Para isso, a instituição elegeu, no dia 21 de junho de 2005, uma nova Governança na Assembléia Geral de Membros, e passou a se chamar Fundação Nacional da Qualidade - FNQ.

Os processos de transformação da FNQ podem ser entendidos em três etapas de atuação (FNQb, 2006, p.8):

Etapa 1 (1992 até 1996): desenvolver uma estrutura e conquistar credibilidade baseada em sólidos conceitos e critérios de avaliação da gestão das organizações;

Etapa 2 (de 1997 até 2003): consolidar o PNQ como marco referencial para a Excelência de Gestão no País;

Etapa 3 (desde 2004): conscientizar e disseminar os conceitos e Fundamentos da Excelência na Gestão por meio dos Critérios de Excelência.

Desde sua criação, a FNQ entregou 318 Relatórios de Avaliação às organizações candidatas dos 14 ciclos de premiações conduzidos. Das 318 candidatas que receberam os Relatórios de

Avaliação, 68 foram visitadas pelos examinadores e, dentre elas, 23 receberam o Prêmio Nacional da Qualidade - PNQ. Nesse período, mais de 13 mil profissionais foram capacitados, dos quais 8.312 se candidataram para atuar como voluntários da Banca examinadora e 3.105 foram selecionados como Juízes, Examinadores Seniores, Examinadores Relatores e Examinadores. Nesse período a FNQ distribuiu mais de 390 mil exemplares dos Critérios de Excelência.

Da experiência adquirida ao longo destes anos e pela credibilidade alcançada, a FNQ estimulou e participou da criação de diversas premiações setoriais, estaduais e regionais. Desde 1996 edita uma publicação que é referencial para essas avaliações, mantendo o alinhamento com os Critérios de Excelência da FNQ e que vem sendo utilizada por mais de 50 processos de avaliação da gestão do desempenho organizacional no país.

Para alinhar todos esses processos de premiação com o do Prêmio Nacional da Qualidade foi estruturada a Rede Nacional da Gestão Rumo a Excelência. Em março de 2005, como marco de consolidação dessa rede, foi editado o documento Rumo a Excelência. É um modelo de instrumento de avaliação para aplicação nas premiações regionais e setoriais, que está sendo usado nessa dissertação para avaliação simplificada do nível de gestão das usinas pesquisadas, por ser considerado um excelente documento para as organizações que buscam uma gestão competitiva.

Atendendo ao processo de avaliação e premiação os sistemas de gestão das empresas candidatas são analisados criticamente pela Banca Examinadora, segundo um processo subdividido em três etapas:

1. *Análise individual*: os Relatórios da Gestão são analisados, individualmente, por um grupo de até 10 examinadores. Os resultados dessas análises, com seus gráficos e tabelas com as pontuações médias, são encaminhados para avaliação aos juízes, que com base na pontuação das candidatas, sem conhecer a identidade das mesmas, e por categoria de premiação, definem aquelas que devem prosseguir no processo de análise.

2. *Análise de consenso*: os Relatórios da Gestão das organizações candidatas, que passam para esta etapa, são analisados por um grupo constituído por um examinador sênior, um examinador relator e os quatro melhores examinadores da etapa anterior, que em consenso, atribuem pontuações para cada um dos 24 itens dos Critérios de Excelência (FNQb, 2006).

3. *Visitas às instalações*: As visitas às instalações das candidatas selecionadas são feitas por um grupo de até 4 examinadores e mais um examinador sênior e um relator. O objetivo da visita é confirmar as informações incluídas nos Relatórios de Gestão e esclarecer dúvidas surgidas durante a sua análise. Para conhecer mais detalhes a respeito de Decisão sobre a premiação, Relatório de avaliação, Banca examinadora, Anúncio das organizações premiadas e Cerimônia de premiação os interessados devem buscar detalhes na página 12 e 13 da publicação FNQb (2006).

As 23 organizações premiadas de 1992 até 2005 com o Prêmio Nacional da Qualidade, pelos Critérios de Excelência da FNQ, são citadas na página 11 da publicação FNQb (2006).

2.4 Considerações sobre a atividade canavieira no Brasil

Essa dissertação focou a indústria de processamento da cana-de-açúcar, visando à Análise de Correlação Comparativa entre Práticas de Gestão e Resultados Energéticos de Usinas de Açúcar e Álcool, no âmbito restrito das atividades industriais. Inicialmente houve a pretensão de fazer a análise para toda a cadeia sucro-alcooleira, incluindo os processos agrícolas de produção da cana. Entretanto, a inclusão dos processos agrícolas na análise foi descartada pelos seguintes principais motivos:

1. Diversidade de fatores de produção, principalmente de solo, clima e logística regional e local, sobre os quais os produtores de cana não têm poder de ação;

2. Diversidade de condições de produção da cana, pois nas quatro usinas pesquisadas há cana produzida pelas próprias usinas, em terras de sua propriedade e arrendadas de proprietários; cana produzida por fornecedores proprietários das terras; e cana produzida com terceirização total via contratos de parceria das usinas com muitos produtores, em terras próprias das usinas e arrendadas de proprietários (em torno de vinte para duas das usinas pesquisadas⁵).

3. Pulverização da produção da cana dentre inúmeros pequenos produtores, com exceção para duas usinas onde cada uma delas produz cerca de 50% da cana processada, com o restante da produção também pulverizada como nas outras duas usinas;

⁵ As parcerias foram precedidas de minuciosa análise de capacitação dos parceiros, agrônomos ou técnicos agrícolas experientes, sendo a maioria constituída de ex-empregados das usinas antes da mudança para a estratégia de produção terceirizada.

4. Diversidade de competitividade no fornecimento da cana por fornecedores proprietários das terras, havendo casos em que o produtor fornecedor tem apenas a alternativa de fornecer a cana para uma determinada usina e o caso de possibilidades de fornecimento da produção para três ou quatro usinas da mesma micro-região.

Em virtude das diversidades acima relatadas seria difícil assegurar condições de comparação de resultados de práticas de gestão e produtividade agrícola. Certamente as mesmas práticas de gestão aplicadas em condições de diferentes fatores de produção (item 1) não resultariam em resultados iguais de produtividade medida, por exemplo, em toneladas produzidas por hectare cultivado. Assim como a diversidade de condições de produção da cana e a excessiva quantidade de fornecedores (itens 2 e 3) também dificultariam demais a análise comparativa proposta, pois a avaliação de gestão pelos critérios da FNQ seria muito dificultada pelo grande número de produtores de cana, a maioria de pequeno porte e de estrutura de organização simples. Mesmo se fosse assumido fazer a avaliação de gestão com amostragem representativa dos fornecedores de cana das usinas pesquisadas, a tarefa seria demasiadamente trabalhosa e muitos itens e aspectos de avaliação seriam pouco aplicáveis para o universo de pequenas organizações selecionado. Entretanto, indicadores de resultados obtidos da análise energética da produção de cana-de-açúcar, apresentado no item 3.1, evidenciam a importância da adoção de boas práticas de gestão como fator de obtenção de resultados relevantes nas atividades agrícolas.

A revisão bibliográfica para as atividades de produção de cana-de-açúcar foi efetuada apenas com o objetivo de identificar os principais fatores relacionados com gestão e tecnologia. Assim, serão apresentados abaixo os resumos de constatações relativas à gestão e tecnologia em cada uma das bibliografias consultadas. O objetivo destes resumos é mostrar que não apenas nas atividades industriais, mas também nas atividades agrícolas, houve apreciável evolução dos sistemas de gestão e de desenvolvimento tecnológico.

Na apresentação do histórico de desenvolvimento tecnológico das usinas de açúcar e álcool do Estado de São Paulo, Mariotoni (2004) cita *ações de gestão pública e privada* no desenvolvimento de *tecnologia* para obtenção de novas variedades de cana-de-açúcar para contornar graves problemas de pragas nas variedades até então cultivadas. O governo paulista, ao tomar conhecimento do impacto do mosaico na sua economia, criou a Estação Experimental de Cana-de-Açúcar na Escola Superior de Agricultura “Luíz de Queiroz”, em Piracicaba (Queda, 1972, p.88, apud Mariotoni, 2004, p. 37). As primeiras *pesquisas* direcionadas para as atividades

de desenvolvimento e adaptação das variedades para resistir às doenças presentes no território brasileiro foram iniciadas em 1928. Os empresários paulistas superaram rapidamente essa crise com a importação e adaptação de variedades de cana-de-açúcar oriundas de Java. Em 1929 São Paulo apresentava 85% das variedades disponíveis resistentes às doenças, graças às primeiras *pesquisas* agrônômicas. Em apenas quatro anos as variedades suscetíveis ao mosaico foram substituídas por variedades resistentes não só à doença como também à geada, e ainda com maiores teores de sacarose. As variedades Java são hoje “mães” das importantes variedades CR - Campos, Brasil – que durante os anos 1970 ultrapassavam metade da área cultivada de cana-de-açúcar no Brasil.

A criação do Proálcool é citada por Walter (1994) como fruto de iniciativa da *gestão pública*, de suma importância para enfrentar os impactos conseqüentes das duas crises internacionais do petróleo. Comenta também a iniciativa de *gestão dos usineiros* na diversificação de produtos derivados da cana-de-açúcar, como forma de atenuar a crise gerada pela queda do preço do açúcar no mercado internacional e o impacto no Proálcool em meados dos anos 80 pela queda do preço do petróleo. Atualmente, a energia elétrica é um dos subprodutos derivados do bagaço e, em futuro próximo também da palha, bastante viável economicamente, com adoção de caldeiras de alta pressão e temperatura, e uso de turbogeradores de alta eficiência.

Guedes e outros (2002) comentam diversas *ações de gestão* na atividade canavieira visando à sustentabilidade, decorrentes de decisões mundiais em conferências promovidas pelo ONU. Destacam que embora a atividade canavieira contribua para reduzir a emissão de gás carbônico, alguns impactos negativos que afetam a sustentabilidade estão exigindo *ações de gestão* para sua redução ou eliminação. Dentre esses impactos negativos são citados a queima da cana para colheita, a erosão do solo, o consumo de água, os efeitos adversos da monocultura, dentre outros, que estão sendo enfrentados com desenvolvimento de *novas tecnologias* para a atividade.

De forma mais acentuada que outros autores de trabalhos considerados na revisão bibliográfica sobre a atividade canavieira, Shikida e outros (2002) comentam sobre diversas *ações de gestão* com impactos positivos para o setor sucro-alcooleiro. Citam a decisão de *gestão pública* de extinção do IAA, eliminando condições como garantia de margens de lucro, reserva de mercado, concessão de subsídios e outras, induzindo à *gestão competitiva*. Comentam que

esse novo *ambiente de gestão* possibilitou a geração de *novas tecnologias* agrícolas e industriais, inclusive com aproveitamento de subprodutos da cana-de-açúcar. Comentam especificamente sobre o uso de *modernas práticas de gestão*, com uso de ferramentas da *Gestão pela Qualidade Total* como Manutenção Produtiva Total (MPT), metodologia PDCA (*Plan, Do, Check e Action*), 5S, *Brainstorming* e Procedimento Operacional Padrão (POP). Na gestão relacionada com pessoas comentam a adoção de Programa de Participação nos Resultados. Citam nominalmente 21 usinas que têm sistema de gestão certificados pela ISO 9001, com algumas delas aderindo à SA 8000, norma relacionada com responsabilidade social. Comentam sobre o ambiente competitivo criado, que resultou em algumas *ações estratégicas de gestão*, como a constituição de cooperativas e associações visando à sinergia de uso de recursos e as fusões de grupos empresariais visando à economia de escala. Citam também *ações de gestão* para Pesquisa e Desenvolvimento na área agrícola e industrial através da dinamização de instituições já criadas anteriormente, como a Copersucar, e constituição de outras, inclusive com a participação de universidades. Entretanto, os autores não citam a prática de *Just in Time*⁶ adotada há muitos anos por algumas usinas, que elimina a estocagem da matéria prima, com o descarregamento da cana dos caminhões sendo feito diretamente para os alimentadores dos processos de lavagem, preparo e moagem. Essa prática elimina a perda de açúcar e o desenvolvimento de bactérias nocivas por deterioração na estocagem, mas requer muita integração de programação e logística entre a indústria e os fornecedores de cana, sem o que os caminhões de transporte da cana acabariam servindo como pátio de estocagem pela conseqüente formação de filas para pesagem e descarregamento.

2.5 Processos industriais de produção de açúcar e álcool

2.5.1 Aspectos gerais

As considerações abaixo sobre processos industriais de usinas de açúcar e álcool foram baseadas principalmente nas publicações da Copersucar, em especial nos cinco Seminários de Tecnologia Industrial promovidos nos anos de 1983, 1985, 1987, 1990 e 1993; e nas interações com engenheiros e técnicos especializados por ocasião de visitas a usinas e de estágio em uma

⁶ Prática de gestão com uso mínimo ou nulo de estoques ao longo da cadeia produtiva.

das usinas pesquisadas. As considerações sobre indicadores de gestão foram referenciadas principalmente em Fernandes (2003) e nas interações com as usinas pesquisadas.

A Figura 2 mostra a distribuição do conteúdo energético da cana-de-açúcar nos produtos finais. As três perdas energéticas globais relevantes são: 1) perda no processamento industrial, da ordem de 10 % a 12 % da sacarose contida na cana processada para produção de açúcar, acrescida de 8 % a 10 % na produção de álcool; 2) perda com a queima da cana na lavoura, para facilidades de colheita manual e, 3) perda com o palhiço⁷ da colheita da cana crua, grande parte deixada integralmente na lavoura. O foco de análise dessa dissertação são as perdas nos processos industriais, que ocorrem principalmente na lavagem da cana, na extração do caldo (bagaço), na torta de filtro, na fermentação e na destilação do álcool, além de outras consideradas perdas indeterminadas.

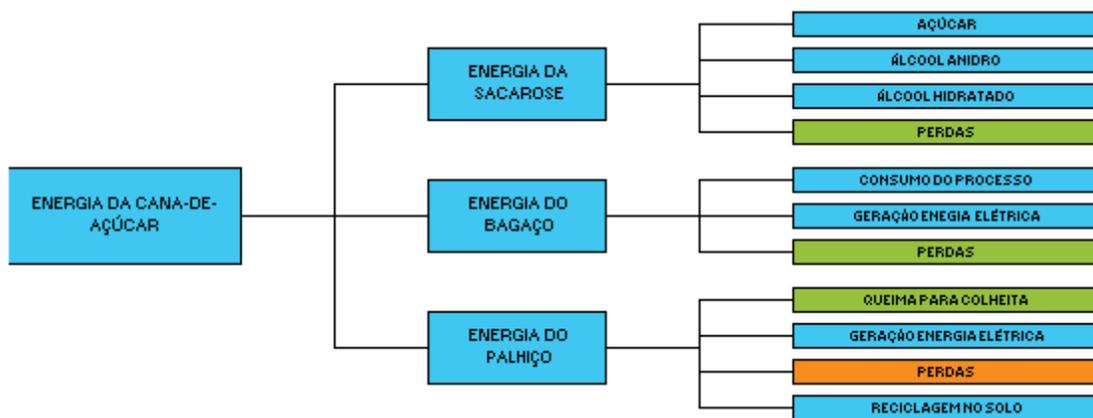


Figura 2 - Conteúdo energético básico da cana-de-açúcar. Elaborado pelo autor

A Figura 3 foi elaborada a partir de Dal Bem (2006), de Fernandes (2003) e de informações obtidas nos contatos com técnicos das usinas A e B. Essa figura mostra um fluxograma completo, adotado para produção de açúcar, álcool hidratado, álcool anidro, levedura para consumo animal e energia elétrica para venda; e dos subprodutos torta de filtro e vinhaça. As usinas C e D pesquisadas nessa dissertação não produzem levedura e energia elétrica para venda, como ocorre nas usinas A e B.

⁷ O palhiço é constituído de palha, ponteiro e folhas.

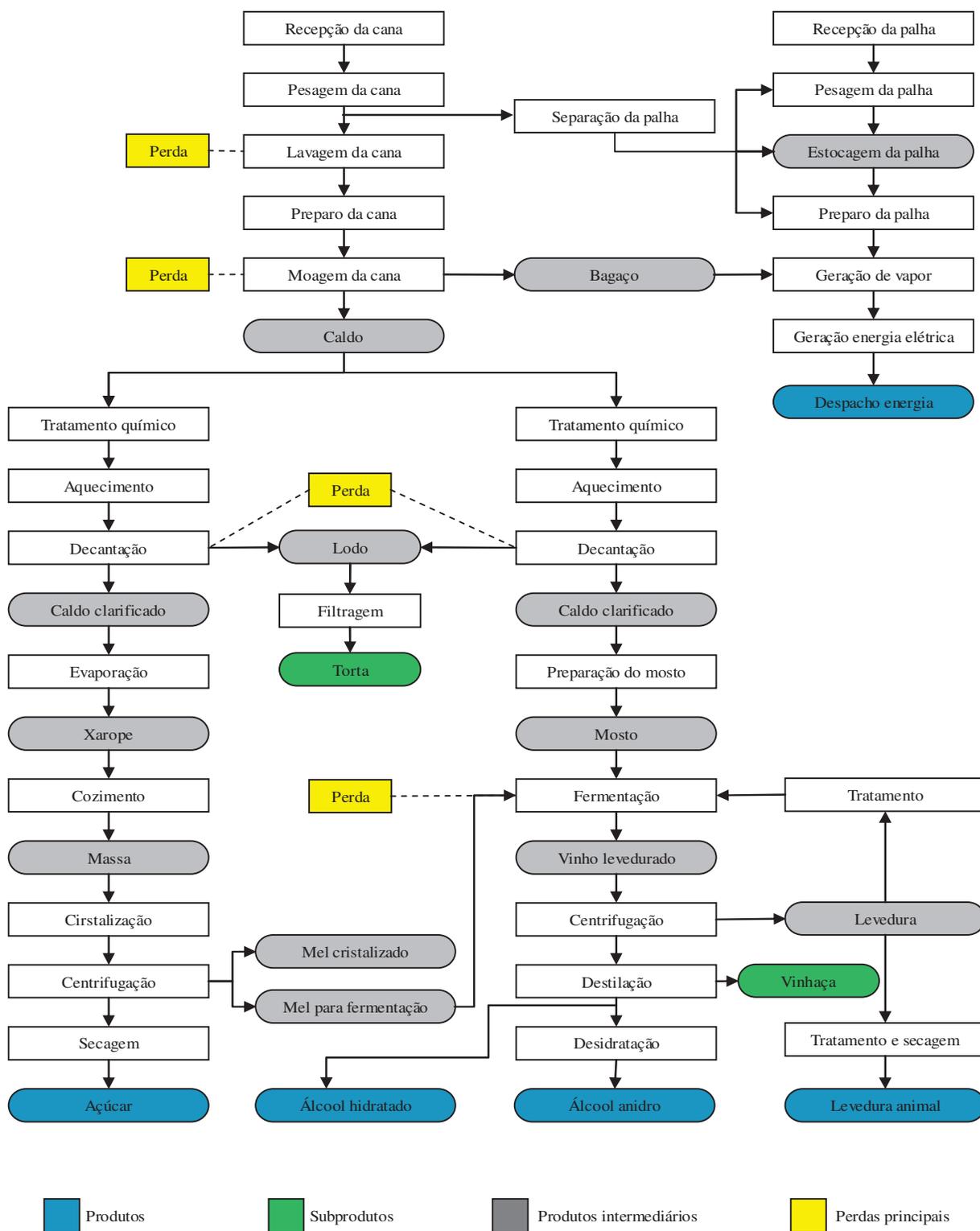


Figura 3 - Fluxograma de produção de derivados da cana-de-açúcar. Elaborada pelo autor.

A Figura 4 foi adaptada de Dal Bem (2006) para mostrar o fluxo de massa no processo industrial. Dal Bem desdobrou esse fluxo em blocos afins de processos industriais⁸, fazendo o balanço de massa para cada um desses blocos de processos, para elaboração da *Modelagem e simulação para o processo industrial de fabricação de açúcar e álcool*, ferramenta computacional de previsão de produção visando à melhor decisão econômica de programação da produção.

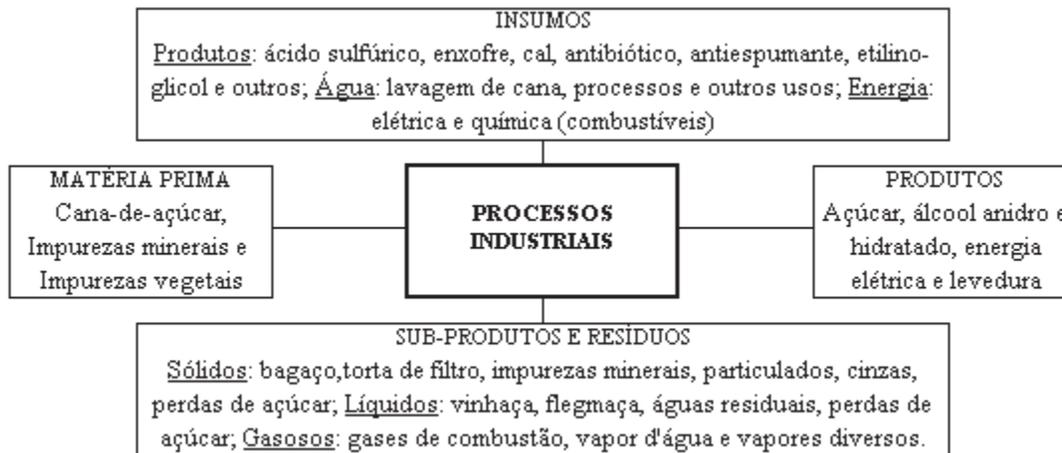


Figura 4 – Fluxo de massa no processo industrial de usinas de açúcar e álcool. Elaborada pelo autor
Fonte: Dal Bem (2006, p.35).

A *matéria prima* recebida no processo de pesagem é composta dos colmos, que constitui a cana-de-açúcar propriamente dita, e de impurezas vegetais e minerais. As impurezas vegetais são constituídas de outras vegetações, indesejáveis, colhidas juntamente com a cana e de palha não totalmente removida no processo de colheita. As impurezas minerais são basicamente argila e areia aderidas aos colmos, devidas principalmente à colheita mecanizada e ao carregamento mecânico da cana colhida manualmente. O teor de impurezas minerais aumenta com a ocorrência de chuva ou orvalho, pois a umidade superficial facilita a aderência da argila e areia. O principal inconveniente das impurezas minerais é o desgaste abrasivo que elas provocam nos equipamentos de alimentação, preparo e moagem da cana, principalmente nas esteiras transportadoras, facas dos picadores, martelos dos desfibradores e moendas. As condições de fornecimento de cana negociadas entre as usinas e as instituições representativas dos fornecedores estabelecem limites

⁸ Bloco 1: pesagem, amostragem e lavagem; bloco 2: extração do caldo; bloco 3: peneiramento, tratamento químico, aquecimento, decantação e filtração; bloco 4: evaporação; bloco 5: cozimento, cristalização, centrifugação e secagem; bloco 6: preparação do mosto, fermentação e centrifugação; e bloco 7: destilação.

máximos para os teores de impurezas, acima dos quais pode ser aplicada uma penalidade monetária ao fornecedor.

2.5.2 Recebimento, preparo e moagem da cana-de-açúcar

O recebimento da cana se dá com o *processo de pesagem*, cujo objetivo é quantificar a matéria prima recebida para gerenciamento da produção industrial e agrícola e para o pagamento aos fornecedores da cana. No processo de pesagem é feita a amostragem da cana recebida para análise laboratorial de medição dos principais indicadores de qualidade da matéria prima. Esses indicadores são usados para ajustes de controle da programação de produção e de processos industriais, para gerenciamento do desempenho dos processos agrícolas de produção da cana e para pagamento aos fornecedores da cana, feito com base no teor de açúcares totais recuperáveis (ATR) e de impurezas. Em todas as usinas pesquisadas, os indicadores resultantes da análise da cana recebida são estatisticamente trabalhados e inseridos no Sistema de Informação, ficando disponíveis em tempo real não só para uso técnico e gerencial pela usina, como também para uso pelos fornecedores da cana, que tem acesso seletivo aos dados e informações mediante autorização formal de conexão ao sistema informatizado. O Sistema de Informações usado pela maioria das usinas é de bastante complexo e composto de diversos subsistemas. Abrange todas as atividades da cadeia produtiva, envolvendo e integrando muitas entidades⁹, processos e atividades. Armazena e trata os dados e informações de interesses especificamente definidos pelas entidades geradoras ou usuárias de tais dados e informações, possibilitando monitoramento, controle e avaliação de processos e atividades, tanto técnicos como gerenciais, sendo um importante instrumento de suporte para decisões.

Após pesagem, a cana dos caminhões é removida diretamente para os sistemas de lavagem e alimentação para seu preparo e moagem. No passado era adotada a prática de armazenamento parcial da cana recebida para processamento posterior nos períodos de interrupção da entrega (noite, feriados e final de semana). Nesses períodos a alimentação dos sistemas de preparo e moagem era feita com a cana do estoque acumulado. Essa prática de armazenamento transitório foi abolida ou reduzida em muitas usinas para evitar deterioração da cana, com perda de açúcar e desenvolvimento de bactérias nocivas aos processos industriais posteriores. A inexistência de estoque-pulmão, entretanto, requer muita integração da programação de produção da indústria

com a programação de colheita e transporte da cana, para haver equilíbrio de disponibilidade para processamento. Sem programação integrada e coordenação entre fornecimento e processamento da cana podem ocorrer desequilíbrios, com excesso de entrega de cana e conseqüente formação de fila de caminhões aguardando pesagem e descarregamento ou com insuficiência de entrega de cana, com reflexos no ritmo de produção da usina.

O *processo de lavagem* tem como principal objetivo a eliminação das impurezas minerais carreadas pela cana recebida. As usinas dispõem de sistema de lavagem anexo à mesa alimentadora para evitar os inconvenientes citados acima no item matéria prima, de desgaste nos equipamentos de alimentação, preparo e moagem da cana, principalmente das moendas. Esse processo de lavagem acarreta perdas de sacarose e outros açúcares da ordem de 1,0 % a 1,5 %, motivo pelo qual é desativado temporariamente em algumas usinas quando é constatado baixo valor de impureza mineral medido nas amostragens de recebimento da cana.

O *processo de alimentação* de cana para preparo e moagem tem início no equipamento de descarregamento dos caminhões. Existem basicamente dois tipos de equipamentos de descarga. O *Hilo*, que é um equipamento mecânico, com torre de estrutura tubular e sistema de levantamento motorizado que dispõe de cabos de aço para o levantamento da carga do caminhão e seu tombamento na mesa alimentadora. E o *Tombador hidráulico*, para descarregamento de cana picada, colhida mecanicamente, transportada em caminhão com caçamba especialmente projetada, que bascula em torno de um eixo horizontal e longitudinal na lateral inferior da caçamba. O acionamento para girar a caçamba tombando a carga sobre a mesa alimentadora é hidráulico, com os equipamentos embutidos no piso.

A mesa alimentadora de cana poderia até ser considerada um componente do sistema de preparo da cana, pois tem papel importante para o bom desempenho dele. É responsável pela regularidade de alimentação, que influi diretamente na uniformidade do processo de preparo, necessário para a obtenção de bons resultados de extração do caldo. O processo de preparo da cana foi muito estudado pela Copersucar já no início de sua constituição, desenvolvendo equipamentos específicos para melhorar seu desempenho. As mesas de alimentação usuais têm inclinação de 30° ou 45°, ambas com boa característica de regularidade de alimentação da cana na esteira de transporte para os picadores e desfibradores de preparo para moagem. As duas

⁹ Entidade pode ser uma empresa, organização, órgão, gerente, técnico, pessoa, instituição pública ou privada, etc.

configurações angulares asseguram bom desempenho do processo de lavagem, com vantagem para a de inclinação de 45°. Há um dispositivo para filtrar os resíduos da lavagem da cana (*cush* *cush* de palha), adequadamente posicionado na parte inferior da mesa alimentadora para coleta e transporte dos resíduos de lavagem, constituído basicamente por palha e pedaços de cana, que são retidos pelo elemento filtrante e retornado para a esteira. Esses filtros, quando construídos de chapas perfuradas têm furos de 3/8 de polegada, com 48% de área aberta; quando construídos com tela de barras trapezoidais, sua abertura é de 1 mm. Os resíduos sólidos são conduzidos com a água de lavagem para instalações de separação e tratamento, com reutilização da água.

O *processo de preparo* da cana para moagem é de extrema importância para a eficiência de extração do caldo. É constituído da *esteira de transporte* (que recebe a cana da mesa alimentadora), dos *picadores* e dos *desfibradores*. Os picadores são conjuntos rotativos com facas oscilantes, com eixo perpendicular à linha de deslocamento da esteira, que giram com sentido de rotação concordante com o sentido do fluxo da cana na esteira. Normalmente são instalados um ou dois picadores. Quando apenas um picador é usado, ele fica posicionado¹⁰ a 200 mm da linha das taliscas da esteira e seu consumo é da ordem 4,0 CV/tch. Quando são usados dois picadores em série, o primeiro fica posicionado entre 800 e 1200 mm, atuando como nivelador da cana na esteira, consumindo em torno de 2,0 CV/tch; o segundo é posicionado a 200 mm e consome 3,5 CV/tch. Os modelos desenvolvidos pela Copersucar são o COP 8 e o COP 9, ambos com velocidade periférica de 60 m/s; a diferença entre eles é o diâmetro e a rotação.

Os desfibradores são instalados após os picadores, também em posição perpendicular à linha de deslocamento da esteira. Eles são constituídos por três principais componentes: o tambor alimentador, o rotor (onde são fixados os martelos oscilantes) e a placa desfibradora. O rolo alimentador é posicionado a 900 mm da linha das taliscas da esteira e gira em sentido concordante com o fluxo de cana na esteira. O rotor tem um eixo robusto, com suportes para fixação dos martelos oscilantes, e é posicionado com sua circunferência periférica (extremidades dos martelos oscilantes) distando apenas 20 mm da linha das taliscas da esteira. Seu sentido de rotação é contrário ao fluxo da cana na esteira. A placa desfibradora é constituída de barras transversais revestidas com solda dura para executar o desfibramento, possuindo dois pontos de fixação, sendo um fixo (anterior) com articulação e outro móvel (posterior) com dois tirantes que

¹⁰ A posição, tanto dos picadores como dos desfibradores, são referidos ao diâmetro periférico do rotor (extremidade das facas ou dos martelos).

permitem sua ajustagem, com abertura de 5 a 10 mm do diâmetro periférico do rotor (extremidades dos martelos oscilantes). Os modelos desenvolvidos pela Copersucar são o COP 5 e o COP 6, ambos com velocidade periférica de 60 m/s e consumo de 4,0 CV/tch. A diferença entre eles é o diâmetro e a rotação. Foi desenvolvido o modelo COP 10, com velocidade de 94 m/s. A capacidade do desfibrador é medida em percentagem de células abertas; para os modelos COP 5 e COP 6 é de 80 a 85%, enquanto para o COP 10 é de 90 a 92%.

O *processo de moagem* tem a finalidade de extrair o caldo da cana. Nele é realizada a separação da parte líquida (caldo), que contem os sólidos solúveis, principalmente a sacarose, da parte sólida, que constitui o bagaço, composto da fibra da cana e das impurezas vegetais. A extração do caldo é feita pelo esmagamento da cana desfibrada, que passa através dos rolos de esmagamento denominados moendas. As moendas de esmagamento são montadas em conjuntos de três rolos, denominados ternos de moendas, com acréscimo do rolo de pressão e, eventualmente, do rolo de alimentação nos ternos que não usam a calha Donnelly¹¹, conforme mostrado na Figura 5. Normalmente o processo de extração é feito com uso de seis ternos de moendas em série, e menos frequentemente, com quatro ternos. As moendas são dispostas em ternos seqüenciais com uma configuração triangular de seus eixos, com uma moenda superior e duas inferiores, conforme esquematizado na Figura 6. A cana desfibrada é esmagada em série, passando entre a moenda superior e o primeiro rolo inferior (entrada) e entre a moenda superior e o segundo rolo inferior (saída).

¹¹ A calha Donnelly é um dispositivo descrito mais adiante e apresentado na Figura 7.

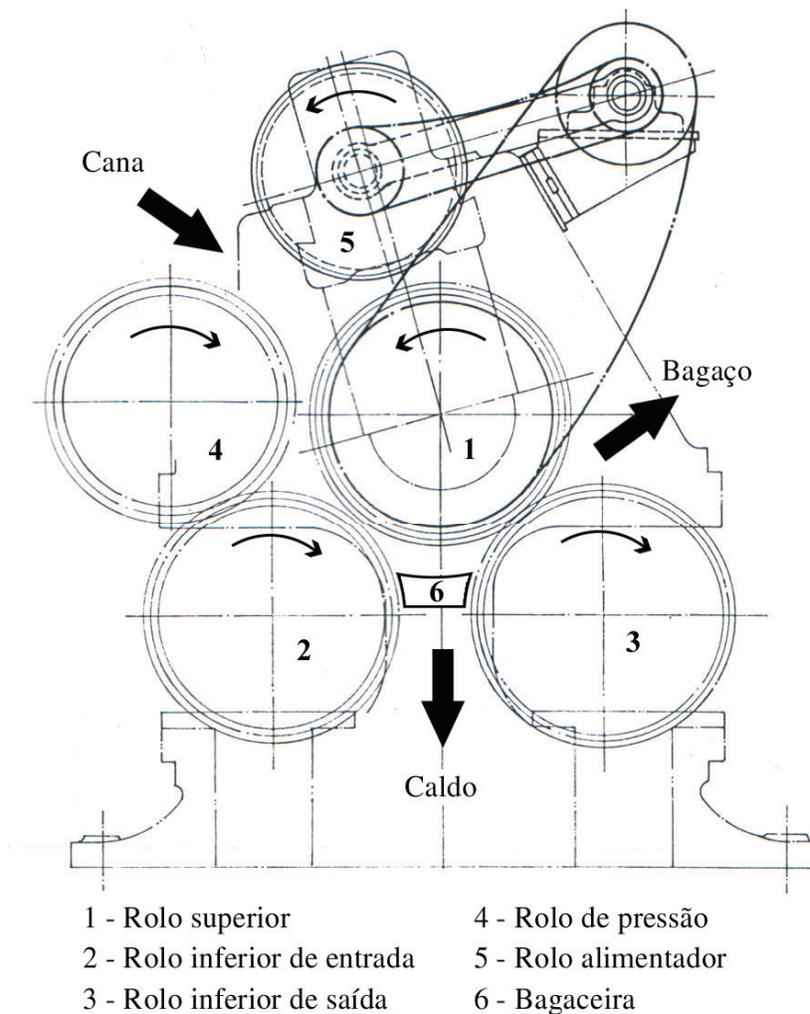


Figura 5 - Composição dos ternos de moendas. Elaborado pelo autor
 Fonte: Copersucar (1993, p.38).

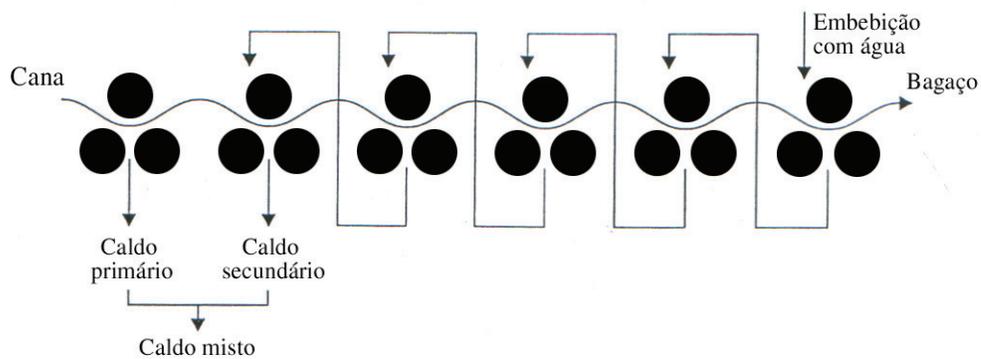


Figura 6 – Esquema de disposição dos ternos de moendas mostrando sistema de embebição
 Fonte: Dal Bem (2006, p.36)

Como mostrado na Figura 5, para conduzir a cana esmagada pelas moendas 1 e 2 para o esmagamento seguinte pelas moendas 1 e 3, é instalada uma placa denominada *bagaceira* (item 6 da figura 5) entre os rolos 2 e 3, no espaço abaixo do rolo superior (1). O formato e o ajuste da bagaceira e dos espaços entre a moenda superior e as inferiores (aberturas) são de extrema importância para a eficiência de extração (percentagem de sacarose extraída do caldo) e produção quantitativa da moagem (toneladas de cana moída por hora). Os espaços entre as moendas são ajustados com a moenda superior assentada na sua posição mais baixa, pois ela é flutuante, tendo seus mancais deslizando em suportes-guia; os mancais são comprimidos para baixo por pistões hidráulicos para pressionar a moenda superior contra as inferiores para extração do caldo. O caldo extraído é coletado na parte inferior dos ternos de moendas e conduzido para filtragem e posterior envio para o processo de tratamento do caldo. O caldo resultante da extração no primeiro terno, chamado caldo primário, representa aproximadamente dois terços do caldo total extraído. Nos outros ternos de moendas é extraído o restante do caldo, com adoção do sistema de embebição, para maximizar a extração de caldo. Existem basicamente três sistemas de embebição: simples, composta e com recirculação. O principal sistema de embebição usado é o composto, com injeção de água na entrada do último terno de moendas, geralmente condensado de vapor vegetal¹² pressurizado a 4 kgf/cm² para boa penetração no bagaço, com o caldo dele extraído sendo injetado na entrada do penúltimo terno, e assim por diante (Figura 6). Deste modo, a coleta de caldo para filtragem e tratamento é feita somente na saída do primeiro terno (caldo primário) e na saída do segundo terno (caldo secundário). No sistema de embebição com recirculação, a parte do caldo extraído em cada terno posterior ao primeiro terno, que transborda na parte superior de saída da segunda moenda, é coletada e injetada no bagaço que entra no mesmo terno.

O caldo extraído, antes de ser enviado para o sistema de tratamento, passa pelo processo de filtragem. Existem dois sistemas de filtragem. O mais antigo e tradicional é o *cush-cush*, com o caldo sendo conduzido por gravidade e dirigido às telas (abertura de 0,65 mm), que separam o bagacilho do caldo; o bagacilho separado é elevado pelo próprio *cush-cush* e descarregado numa rosca transportadora para retorno as moendas. O outro sistema, mais usado atualmente, é o de peneira rotativa, constituído de um cilindro estruturado e fechado com a tela de filtragem,

¹² O vapor vegetal é o vapor resultante do processo de evaporação do caldo, para concentração do açúcar nele contido até transformá-lo em xarope (ver item 2.5.4.a).

apoiado em dois pares de rolos sobre os quais realiza movimento de rotação. O cilindro é instalado com inclinação de 6°, aberto nas extremidades, com entradas tangenciais para os caldos primário e secundário, com duas saídas independentes. O bagacilho coletado na extremidade mais baixa do cilindro é levado através de um transportador de rosca helicoidal para a esteira de alimentação das moendas, normalmente entre o primeiro e segundo ternos. Os dois fluxos de caldo filtrado (primário e secundário) são enviados para os sistemas de tratamento. Nas usinas que produzem açúcar e álcool, o caldo primário, oriundo do primeiro terno de moendas, com teor de sacarose mais elevado, é enviado para fabricação do açúcar. O caldo secundário, cuja produção em geral é insuficiente para a produção programada de álcool, é misturado com parte do caldo primário, resultando no chamado caldo misto, e enviado para tratamento e produção de álcool.

Uma das melhorias desenvolvidas pela Copersucar no processo de moagem foi a adoção de um dispositivo de alimentação das moendas, denominado *Calha Donnelly*, mostrado na Figura 7. É um condutor forçado praticamente vertical¹³ construído de chapas, com secção retangular de dimensão crescente no sentido do fluxo para evitar embuchamentos¹⁴, para forçar a entrada da carga de material a ser esmagado pelas moendas (cana desfibrada, no caso do primeiro terno, ou bagaço proveniente da saída dos ternos anteriores, no caso do segundo ao último terno). A calha *Donnelly* tem uma chapa frontal de regulagem de entrada de material a ser esmagado para ajuste da moagem quantitativa desejada. A calha possui, em suas chapas laterais, sensores em diferentes níveis, com os sinais sendo usados para controle de velocidade da esteira de alimentação do respectivo terno de moendas, de modo a manter o nível máximo dentro da calha a maior parte do tempo, assegurando a máxima pressão na entrada das moendas. A calha tem também janelas transparentes que permitem a visualização do nível para eventual controle manual de alimentação quando necessário. A alimentação de cada terno de moendas conta ainda com o rolo de pressão para assegurar boa alimentação de carga nas moendas. A calha possui duas chapas de bloqueio articuladas, na parte inferior, acionadas por pistões pneumáticos para interromper o fluxo de alimentação de carga da moenda quando necessário. Seu comando tem intertravamento com o acionamento da esteira de alimentação para cortar a entrada de carga na calha.

¹³ A inclinação da chapa anterior é de 4° e da posterior de 6°, para ampliação da secção ao longo do fluxo.

¹⁴ Perda da movimentação de alimentação das moendas por entupimento dentro da calha.

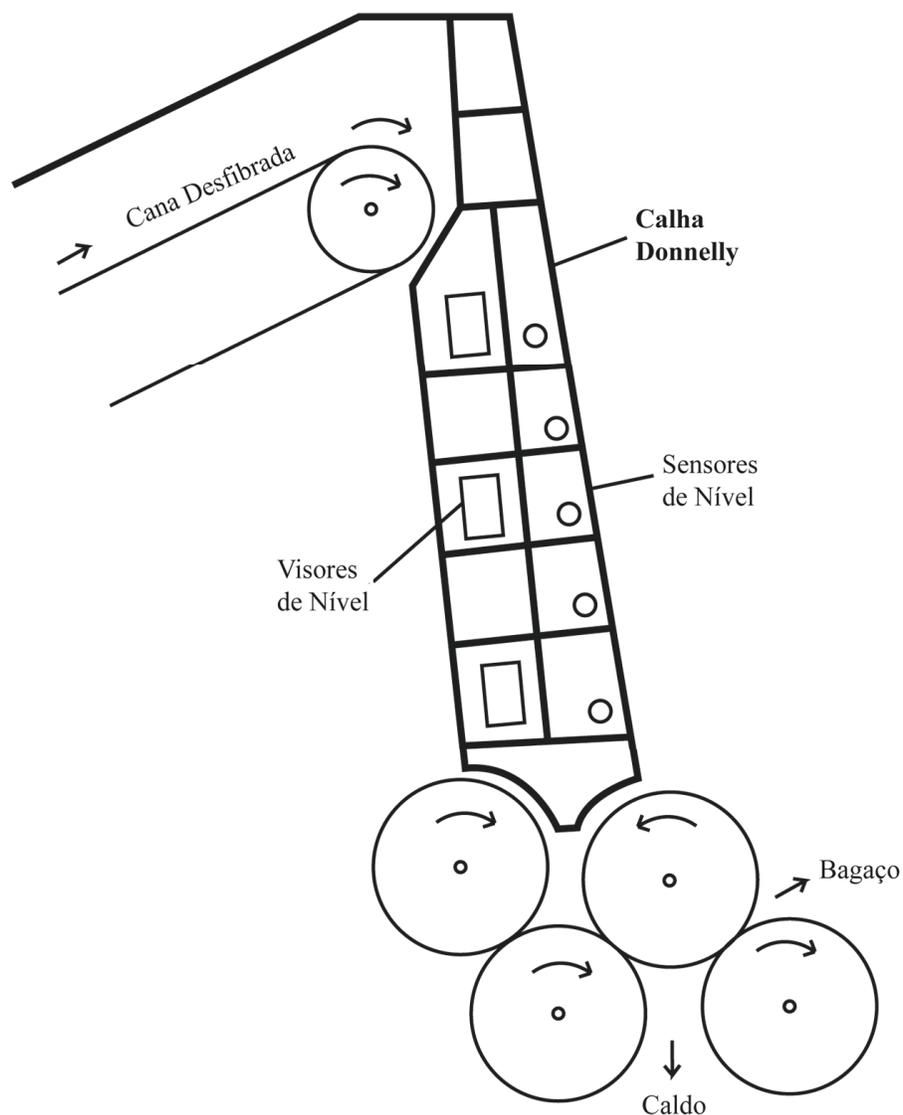


Figura 7 - Calha Donnelly. Elaborada pelo autor (fonte: Copersucar, 1993, p.35).

Os resultados obtidos pela Copersucar com o desenvolvimento e implantação de equipamentos para os processos de alimentação, de preparo e de moagem de cana proporcionaram significativos benefícios; os índices obtidos foram tais que qualquer melhoria no desempenho geral desses setores dependeria basicamente de ações de cunho gerencial, para manutenção de continuidade e eficiência operacional dos processos e acompanhamento com correções das condições de operação a partir de avaliação sistematizada de indicadores de desempenho dentro de níveis compatíveis com os equipamentos e processos utilizados. Em outras palavras, tendo atingido um nível tecnológico alto, necessário de fazia assegurar o bom uso dessa

tecnologia, otimizando os resultados dos investimentos em equipamentos desenvolvidos e instalados.

Assim, a Copersucar decidiu pelo desenvolvimento de um programa de *Controle Operacional de Moendas*, que além de cumprir sua função básica conceitual poderia identificar eventuais oportunidades de melhorias nesses processos. Isso foi feito com o estudo do comportamento dos diversos indicadores desses processos, avaliando em detalhe cada um e seus relacionamentos de interdependência. Para confirmar a objetividade dos estudos se fazia necessário sua implementação experimental com coleta de dados segundo um plano de amostragem adequadamente definido. O programa teve início na safra de 84/85 em caráter experimental, com participação de três usinas (Barra Grande, Bonfim e São Martinho), tendo sido necessária a formação de infra-estrutura para sua realização. Foram efetuados 189 testes com o objetivo principal de fazer com que as usinas levantassem os dados de maneira rotineira e confiável, o que foi satisfatoriamente conseguido. Na safra seguinte houve o ingresso da Usina São José, tendo sido realizados o total de 361 testes. Nesse período foram determinados parâmetros de caracterização de funcionamento do conjunto de moendas, determinados nas safras de 84/85, 85/86 e 86/87, aprimorando e validando o programa para uso geral.

Em Copersucar (1983, 1985, 1987, 1990 e 1993) podem ser encontrados mais detalhes das instalações de alimentação, preparo e moagem, não introduzidas nesse texto por não conveniência de aprofundar detalhes. Um aspecto observado na leitura dos registros dos cinco seminários havidos é que muitos assuntos foram abordados com descrição exatamente iguais em mais de um seminário, inclusive com as mesmas figuras.

2.5.3 Tratamento do caldo

A fabricação do açúcar tem início com o processo de *tratamento do caldo*. Esse processo começa na sulfitação, com o caldo descendo por uma torre em contracorrente com um fluxo gasoso de óxidos de enxofre, gerado com a queima desse produto químico, seguido da introdução do leite de cal (hidróxido de cálcio), ambos antes do aquecimento do caldo. A finalidade da sulfitação e da dosagem de leite de cal é a remoção de impurezas solúveis e coloidais para obtenção de açúcar de qualidade. A Copersucar avaliou e desenvolveu o processo vantajoso de uso de sacarato de cálcio em substituição ao hidróxido de cálcio. Após esses processos de

sulfitação e dosagem com hidróxido ou sacarato de cálcio o caldo é aquecido até 105 °C, passando em seguida pelo balão de *flash*, para remoção de bolhas de ar contidas no caldo. No *flash* há evaporação de parte da água contida no caldo, baixando sua temperatura para 98 °C. O aquecimento do caldo é feito com consumo de vapor de processo, tendo sua eficiência melhorada com o desenvolvimento pela Copersucar do aquecimento com uso de trocador regenerativo, onde é aproveitado o calor do caldo clarificado após sua saída do decantador¹⁵. Na saída do balão de *flash* é adicionado o produto floculante, homogeneizado no caldo através do misturador em linha antes da sua entrada no decantador¹⁶. A finalidade do decantador é a separação do material particulado presente no caldo, basicamente bagacilho fino do processo de moagem que passou pelo sistema de filtragem. O caldo clarificado sai do decantador a 95 °C, sendo enviado por bombeio para o processo de evaporação. Um aspecto que merece citação no processo de clarificação de caldo é o uso do decantador tipo SRI, sem bandejas (projeto australiano), que tem uma série de vantagens em relação aos decantadores convencionais, tais como menor perda de sacarose, menor decomposição de açúcares redutores, menor investimento de capital, menores custos de manutenção e redução de tamanho, facilitando o arranjo físico (*layout*) industrial¹⁷.

Foi desenvolvido também pela Copersucar o sistema de aquecimento do caldo por contato direto e resfriamento por *flash*. O processo é constituído de dois multijatos a vapor vegetal, instalados em série, que recebem o caldo misto após sulfitação e dosagem de cal ou sacarato, com temperatura de 34 °C, onde há a mistura por contato entre o vapor vegetal e o caldo misto. No primeiro multijato a temperatura do caldo é elevada de 34 °C para 54 °C, e em seguida para 71 °C no segundo multijato. Esses dois multijatos provocam vácuo em dois tambores de evaporação instalados em série após as bombas de caldo clarificado da saída do decantador para o processo de evaporação. No primeiro tambor a temperatura do caldo clarificado cai de 95 °C para 79 °C, e desse valor para 60 °C na saída do segundo tambor. O aquecimento do caldo misto após a saída do segundo multijato de 71 °C até 105 °C é feito com vapor vegetal com 115 °C oriundo do processo de evaporação¹⁸.

O processo de clarificação do caldo no decantador gera o lodo de fundo que é encaminhado para filtragem no filtro cilíndrico rotativo a vácuo. O produto resultante dessa filtração é a torta

¹⁵ Os fluxogramas detalhados dos dois sistemas de aquecimento podem ser vistos em Copersucar (1983, p. 129).

¹⁶ Detalhes do fluxograma de preparação do floculante podem ser vistos em Copersucar (1993, p. 114).

¹⁷ Os detalhes do decantador tipo SRI podem ser vistos em Copersucar (1983, p. 121).

¹⁸ A ilustração desse processo pode ser vista em Copersucar (1993, p. 116).

de filtro, usada como adubo orgânico no plantio da cana por conter fósforo na forma de P_2O_5 , reciclado da cana colhida.

Antes do envio do caldo clarificado para a evaporação, ele passa por um peneiramento fino para retenção de partículas finas para eliminar sua presença no açúcar. A abertura delas deve ser inferior a 200 microns, devido à pequena granulometria das partículas em suspensão no caldo clarificado.

2.5.4 Fabricação do açúcar

a) Evaporação

O *processo de evaporação* tem a finalidade de concentrar o ART (Açúcares Redutores Totais) do caldo clarificado, resultando no xarope, que vai para o processo de cozimento. Os valores de concentração do caldo na entrada e saída do processo de evaporação da usina B pesquisada são, respectivamente, 25° Brix e 65° Brix e a temperatura de entrada é 115 °C. A evaporação é promovida com vapor de escape das turbinas, com pressão de 1,5 kgf/cm² e levemente superaquecido (temperatura entre 130 °C e 150 °C na usina B); esse vapor cede calor para aquecimento e evaporação do caldo clarificado do primeiro trocador de calor, denominado evaporador de primeiro efeito, ou pré-evaporador¹⁹. O vapor gerado com a evaporação do caldo nesse primeiro evaporador, denominado vapor vegetal (VG1), com temperatura de 115 °C é usado no processo seguinte de cozimento e aproveitado para evaporar o caldo do segundo evaporador (segundo efeito); o vapor vegetal gerado no segundo efeito é aproveitado para evaporar o caldo do terceiro efeito, e assim sucessivamente até o quinto e último evaporador (quinto efeito). Esse último evaporador está conectado a um sistema de geração de vácuo. Na usina B há quatro conjuntos de evaporadores, sendo o vácuo de dois deles gerado por condensador e bomba de vácuo e dos outros dois com jato de água (hidrojato). O uso do calor sensível recuperado dos condensados da evaporação possibilita uma economia de 3,5 % do consumo de vapor de escape²⁰.

¹⁹ Detalhes em Copersucar (1993, p. 150).

²⁰ Vide Copersucar (1983, p.144).

b) Cozimento e cristalização

O *processo de cozimento e cristalização* é alimentado pelo xarope a 60° - 65° Brix do sistema de evaporação, que é concentrado por evaporação a vácuo, para gerar a massa cristalizada a ser centrifugada para separação do açúcar e do mel. O xarope, antes de entrar para o processo de cozimento, é retido em um tanque de xarope bruto e aquecido com vapor vegetal VG1 (oriundo do pré-evaporador do processo de evaporação) para reduzir sua viscosidade. Antes de entrar no processo de cozimento, o xarope passa por um tanque flutador onde é injetado o polímero flocculante. Nesse tanque é formado um produto flutuante contendo substâncias que dão cor ao açúcar e impurezas, que é retirado por um raspador e conduzido de volta para o tanque de caldo misto para recuperação do açúcar contido. O xarope flotado é retirado pelo fundo do tanque e enviado para o processo de cozimento.

O cozimento é feito sob vácuo, com evaporação a baixa temperatura, para que não ocorra a modificação da sacarose em caramelo ou sua destruição por queima. Os primeiros estágios de cozimento a vácuo visam à concentração do volume inicial de solução de cozimento para a obtenção dos cristais que crescerão e comporão a massa cozida final. Nessa etapa do processo de cozimento são introduzidas as sementes, que são pequenos cristais, bastante finos, em grande quantidade e com tamanho regular. A solução de sementes de cristal é obtida com a trituração de uma solução de açúcar em álcool; o grau de trituração é elevado para que sejam obtidos cristais de minúsculas dimensões. No cozimento ocorre a supersaturação da solução, com o açúcar sendo depositado nas sementes introduzidas ou nos cristais já existentes na massa em cozimento.

As condições para a ocorrência da supersaturação são controladas para que o processo de cristalização seja bem sucedido. Existem quatro faixas ou zonas de saturação, visualizáveis em um gráfico com a variável temperatura da solução (eixo x) e variável concentração de sacarose na solução (eixo y). Para uma determinada temperatura, por exemplo, 70 °C, à medida que a concentração de sacarose aumenta na solução, há a ocorrência das seguintes zonas sequenciais: 1) zona *não saturada*, onde nenhum cristal se forma e qualquer cristal existente se dissolve na solução; 2) zona *metaestável*, onde não surgem novos cristais, mas os existentes crescem; 3) zona *intermediária*, onde nascem os cristais e os existentes crescem, mas com possibilidade de formação de falsos cristais (*poeira*) e conglomerados; e, 4) zona *supersaturada*, onde os cristais crescem e novos cristais se formam espontaneamente mesmo sem a presença de outros.

Após a primeira etapa de cozimento acima descrita, a massa resultante (*massa B*) segue para outros cozedores, sendo misturada com mel (resultante do *processo de turbinagem contínua* da massa cristalizada) e xarope (caldo proveniente dos evaporadores), onde continua o cozimento para crescimento dos cristais dentro dos padrões de granulometria estabelecidos para essa etapa do processo. Saindo desses cozedores a massa é enviada para as caixas de agitação (cristalizadores), de forma cilíndrica horizontal e com agitadores rotativos helicoidais; a função dessa agitação é evitar que a massa endureça pela alta viscosidade nessa fase do processo.

c) Centrifugação e secagem do açúcar

A massa B, em agitação contínua, é enviada para as centrífugas contínuas, com tela perfurada de forma cônica, onde é feita a separação em dois produtos: a parte líquida que passa pela tela, denominado mel B, é encaminhada para a destilaria para fabricação de álcool; a parte retida escoar sobre a tela cônica rotativa, sendo composta de cristais em solução aquosa, denominada *magma*. Esse *magma* é enviado por transportadores helicoidais para outros cozedores que recebem a adição de xarope flotado, constituindo a chamada *massa A*. A massa A é enviada para cristalizadores similares aos acima descritos para a massa B, de onde segue para a separação do açúcar final pelo *processo de turbinagem descontínua*. Nessa turbina há a centrifugação da massa cristalizada, com lavagem por condensado de vapor vegetal e por vapor de escape (vapor de aquecimento do processo). A parte que passa pela tela centrífuga, denominado mel A, retorna ao processo de cozimento após diluição até a concentração a brix 65°. A parte retida na turbina constitui o açúcar úmido, enviado para o processo de secagem e embalagem para armazenamento e expedição como produto final.

2.5.5 Fabricação de álcool

a) Considerações gerais

A matéria prima para produção do álcool tem a cana-de-açúcar como fonte primária. Na extração do caldo resultante do processo de moagem são produzidas duas correntes de caldo: o caldo primário, extraído pelo primeiro terno de moendas, que contém praticamente dois terços da sacarose e outros sólidos solúveis da cana; e o caldo secundário, extraído pelos outros ternos com uso do sistema de embebição com água ou condensado de vapor vegetal (resultante da evaporação de caldo no processo de aquecimento), que contém o restante da sacarose e outros

açúcares, de forma mais diluída. Parte da sacarose e outros açúcares ficam contidos no bagaço, da ordem de 3 % a 4 % do total contido na cana, constituindo a principal perda do processo de extração do caldo.

O caldo primário é priorizado para produção de açúcar, por ter maior concentração de sacarose, exigindo assim menor dispêndio de energia para seu tratamento e uso na fabricação do açúcar. Parte do caldo primário, não destinada à fabricação do açúcar, é misturada com o caldo secundário, resultando no chamado caldo misto, encaminhado para a fabricação do álcool. O caldo misto passa por tratamentos idênticos ao destinado à produção de açúcar, gerando o caldo clarificado, enviado para a destilaria para composição do mosto. A destinação do caldo extraído como acima descrito ocorre nas usinas com destilaria anexa, que produzem açúcar e álcool. Nas usinas que produzem somente álcool, chamadas destilarias autônomas, todo o caldo extraído é usado diretamente para produção de álcool.

b) Preparação do mosto

O mosto é produto intermediário que alimenta o processo de fermentação, composto basicamente de caldo misto clarificado, mel e xarope (produtos intermediários oriundos da fabricação do açúcar), e água de diluição. O mosto produzido é armazenado em um tanque pulmão que alimenta as dornas de fermentação.

c) Fermentação e centrifugação

A fermentação do mosto ocorre nas dornas de fermentação, com a introdução do fermento tratado, convertendo os açúcares em etanol, gás carbônico e outros subprodutos. O produto da fermentação é o vinho levedurado, que após passar pelo processo de centrifugação resulta no vinho deslevedurado, enviado para o processo de destilação, e na levedura (fermento), enviada para o pré-fermentador para tratamento e retorno para as dornas de fermentação. Nas usinas que produzem levedura como produto final, parte da levedura é tratada, secada e embalada para estoque e comercialização. A parte da levedura que será retornada ao processo de fermentação é tratada para correção de acidez com ácido sulfúrico e fosfórico, sendo também introduzidos antibióticos e nutrientes como magnésio e zinco.

O gás carbônico gerado na fermentação é lançado na atmosfera e arrasta consigo uma pequena parte do etanol produzido. A recuperação desse etanol arrastado é feita em uma torre de recuperação onde os gases sobem em contracorrente com água desclorada introduzida no topo da

torre. A mistura de água e álcool é recolhida na base da torre e enviada para o pré-fermentador de tratamento do fermento, retornando assim ao processo de fermentação.

A fermentação alcoólica ocorre pela atuação de bactérias que se alimentam dos açúcares simples gerando álcool e gás carbônico. O uso da sacarose para produção do álcool ocorre em duas etapas (Nogueira, 1987, p. 151) e (Fernandes, 2003, p. 42):

- a) Hidrólise da sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$) gerando açúcares simples ($C_6H_{12}O_6$); e
- b) Fermentação desses açúcares simples, gerando etanol e gás carbônico. Os açúcares simples provem da hidrólise da sacarose e também dos contidos na própria cana-de-açúcar, em quantidade bem inferior, aproximadamente 3 % (percentagem em massa) relativamente à sacarose contida na cana, conforme Nogueira (1987, p. 22). Esses açúcares simples constituem os Açúcares Redutores Totais (ART), que alimentam as bactérias no processo seguinte de fermentação.

O balanço de massa das duas reações acima citadas mostra que 342 g de sacarose reagem com 18 g de água, gerando 360 g de açúcares simples (2 x 180 g). Cada 360 g de açúcares simples geram, na reação de fermentação, 184 g de etanol (C_2H_5OH) e 176 g de gás carbônico (CO_2). Os cálculos com os números acima, considerando que o volume específico do etanol puro é de 789,3 m³/t (Fernandes, 2003, p.44), geram a relação de 0,6816 m³ de etanol para cada tonelada de sacarose; ou, inversamente, 1.467,1 kg de sacarose para cada m³ de etanol. Essa relação de produção de etanol relativamente à sacarose processada, resultante dos cálculos estequiométricos, constitui relação ideal de produção. A relação real de produção é menor, devido à produção de produtos secundários e à ocorrência de perdas nos processos.

d) Destilação

O vinho deslevedurado contém cerca de 8% a 10% de etanol (e outros subprodutos como álcoois superiores, gliceróis, aldeídos, furfural e outros) e água. A separação do etanol é feita pelo processo de destilação, com uso de torres fracionadoras em série, constituídas de bandejas que criam várias regiões de equilíbrio líquido-vapor. Esse fracionamento concentra a fração leve da mistura (etanol e outros subprodutos) nas bandejas superiores e a fração pesada (água) nas bandejas inferiores. O vinho é aquecido em duas etapas antes de entrar na primeira torre de destilação. Inicialmente troca calor com os produtos leves do topo da segunda torre fracionadora; em seguida, troca calor com a vinhaça que sai da parte inferior da primeira torre de destilação. Nesse processo de aquecimento a temperatura é elevada de 35 °C para 92 °C.

A primeira torre de destilação, geralmente denominada de torre A, tem três secções: inferior, intermediária e superior. Na primeira etapa de destilação, o vinho é introduzido no topo da secção intermediária dessa torre, separando o vinho em duas frações básicas; a *vinhaça*, fração mais pesada, que sai pelo fundo da secção inferior da torre; e o *flegma*, mistura com teor de etanol de 35 a 65 GL, que sai pelo topo da secção inferior. A vinhaça, após resfriamento pela troca de calor com o vinho que entra na torre, é enviada para reservatório e bombeada para a lavoura; o flegma é enviado para continuação do fracionamento na segunda torre. No topo da secção superior da primeira torre saem algumas frações mais leves que o etanol e outros subprodutos, com parte retirada e parte re-injetada no topo da mesma torre após condensação.

A segunda torre, geralmente chamada de torre B, é composta de duas secções. A superior, de concentração e a inferior, de esgotamento. O flegma efluente da primeira torre é fracionado na segunda torre, injetado no topo da secção inferior. Os vapores alcoólicos saem pelo topo da secção superior que, após separação dos componentes leves (aldeído e ésteres), constitui o álcool hidratado, com 97 GL. Parte desse álcool é re-circulada pelo topo da torre e a restante resfriada até 27 °C e enviada para armazenamento. Na parte intermediária e inferior da secção superior da segunda torre são retirados os subprodutos mais pesados, chamados de óleos altos e óleos baixos, respectivamente. O calor necessário para o processo de evaporação da segunda torre é fornecido pelo vapor de escape, injetado na base da secção inferior. O produto de fundo da parte inferior é retirado para fracionamento em outra torre, para separação do óleo fúsel e da *flegmassa*. A flegmassa, praticamente uma água livre de álcool e com temperatura elevada, é utilizada na lavagem de dornas e trocadores de calor, para desinfecção de bactérias que se acumulam na superfície desses equipamentos.

e) Desidratação

O processo de destilação acima descrito produz etanol hidratado, com teor alcoólico máximo correspondente à mistura azeotrópica. Pelo processo de destilação direta não é possível remover essa quantidade residual de água, com a mistura etanol-água com comportamento de substância pura, evaporando e condensando sempre na mesma proporção.

Para aumentar o teor de etanol na mistura é usada uma terceira substância (desidratante) que captura o etanol e evapora com ele na torre de destilação, separando-se da água. Em seguida, em outra torre essa substância é separada do etanol, liberando-o de quase toda a água antes contida nele, resultando no etanol anidro, com baixa percentagem de água. Nos processos usados anos

atrás a substância usada era o benzeno. Pelos riscos à saúde associados a essa substância ele foi substituído pelo ciclohexano, que cumpre a mesma função.

Um outro processo, mais recente, usa resina e zeólitas (alumínio silicatos) como materiais de enchimento das torres, que têm alta capacidade de adsorção. O álcool hidratado flui através desse leito, que retém as moléculas menores, deixando passar as maiores. Assim, a água fica retida enquanto as moléculas de etanol passam. Depois de ser atingida a saturação do material o fluxo de álcool hidratado é encaminhado para outra torre. A regeneração da torre saturada é feita com uso de vácuo para remoção da água retida no material. A vida útil desse material de recheio das torres é de mais ou menos dez anos (dez safras). A vantagem desse processo é a obtenção de etanol isento de contaminações pelas substâncias nocivas como o benzeno e mesmo o ciclohexano. Como vantagens, esse processo tem menor consumo específico de vapor e maior facilidade de uso de automação operacional.

2.6 Cogeração em usinas de açúcar e álcool

Neste item serão abordados dois aspectos relacionados com cogeração: a *evolução de uso do bagaço* da cana-de-açúcar para geração de energia térmica e elétrica nas usinas de açúcar e álcool e os *conceitos e características do processo de cogeração*. Tal abordagem se faz conveniente pelo fato desta dissertação tratar da eficiência de consumo energético dos processos (avaliada pelo consumo parcial do bagaço produzido), sendo importante o entendimento de uso do bagaço na cogeração de vapor e energia elétrica para o consumo dos processos e geração de energia elétrica para venda com uso da sobra de bagaço. Quanto maior a eficiência energética dos processos, maior a sobra de bagaço e, portanto, maior a parcela de energia elétrica gerada para comercialização como subproduto da cana-de-açúcar.

2.6.1 Evolução do uso do bagaço para cogeração de energia

A *Produção de eletricidade junto ao setor sucro-alcooleiro*, nos contextos a nível mundial e brasileiro, foi tratada por Walter (1994), citando que as primeiras instalações industriais do setor sucro-alcooleiro foram construídas em uma época em que não havia grande preocupação com uso racional de energia; tais instalações foram construídas para fazer uso intensivo do bagaço para sua eliminação como resíduo ao longo do período de safra; e com os primeiros

projetos tendo como meta a produção de vapor necessário ao menor custo, gerando vapor saturado ou levemente superaquecido com uso de grande quantidade de caldeiras. Os sistemas elétricos eram pouco desenvolvidos e às vezes não existiam em locais onde algumas usinas estavam instaladas. A geração elétrica visava quase que apenas à iluminação da planta e núcleos residenciais próximos. Praticamente todo acionamento mecânico das usinas era feito a partir do vapor, com eficiência tão baixa que em muitos casos exigiam a complementação de combustíveis para as caldeiras com lenha ou carvão²¹. Ao longo do tempo houve melhorias no sistema de geração do vapor, com instalação de caldeiras geradoras de vapor superaquecido e turbinas a vapor de contrapressão, mas com geração de energia elétrica apenas para consumo próprio. Em algumas poucas regiões do mundo ocorreu a cogeração a partir do uso de bagaço de forma marcante. Walter (1994) lista as principais dificuldades que existiam para viabilizar o expressivo potencial de produção de eletricidade do setor sucroalcooleiro.

Colômbia, África do Sul e Austrália são países onde a geração de eletricidade em larga escala a partir dos subprodutos da cana não tem despertado interesse (Bouvet, 1991 apud Walter, 1994); por outro lado, muitos outros casos merecem destaque em função do potencial já explorado ou do interesse que a produção elétrica a partir do bagaço desperta: Havaí, Ilhas Maurício, Ilha Reunião, Cuba, Índia, Tailândia e Costa Rica. Walter (1994) descreve especificidades sobre a realidade de cada um desses países citados, incluído uma tabela com parâmetros de caracterização dos seus principais sistemas de produção.

Tratando mais especificamente do contexto Brasil, Walter (1994) comenta que é justamente na direção do limite da autosuficiência que o setor sucro-alcooleiro tem caminhado nos últimos anos (previsão do autor em 1994), com a produção em maior escala ocorrendo em decorrência da obsolescência dos equipamentos dos sistemas de potência existentes. O índice de autosuficiência em energia elétrica das usinas do centro-sul era próximo de 85% (Zarpelon, 1992-b apud Walter, 1994) e entre 94% e 95% nas usinas associadas à Copersucar (Macedo, 1994 apud Walter, 1994). São citadas experiências do Nordeste e de São Paulo no fornecimento externo de energia elétrica, com citação das concessionárias (CHESF do Nordeste; CPFL e CESP de São Paulo), com as

²¹ O autor desta dissertação conheceu essa realidade durante o período em que residiu com sua família ao lado de uma usina do estado de São Paulo, onde o pai era funcionário, desde sua construção em 1946 até 1967, ano em que concluiu o curso de engenharia mecânica. Recorda do período de grande consumo de lenha nas caldeiras, com desperdício de vapor não apenas pela baixa eficiência de uso, mas também pela baixa coordenação e integração entre consumo de vapor e sua geração. Era comum o descarte de vapor por superprodução pela válvula de alívio das caldeiras, com geração de altos níveis de ruído.

potências comercializadas. Comenta que, em termos mundiais, a eletrificação do processo e a conseqüente substituição das turbinas de acionamento de moendas, dos equipamentos de preparo da cana e de grandes ventiladores e bombas é rara e dificilmente justificável do ponto de vista econômico. E que para novas plantas, dependendo da existência de um contexto favorável à comercialização de energia elétrica excedente, a eletrificação pode ser viável. Apresenta, na Tabela 6.1, dados característicos de sistemas de produção de eletricidade das usinas paulistas, obtidos de três fontes (Copersucar, 1991; Sopral, 1991; e Cortez e Dias, 1992, apud Walter, 1994). Com base em observações de amostragem significativa de usinas (68 % das usinas paulistas, representando 84% do total de cana moída no estado, nas safras de 1990/1991) Walter (1994) cita: 1) poucos geradores de vapor tinham mais do que 20 anos de operação, mas algumas turbinas estavam operando a mais de trinta anos; 2) Na implantação das duas primeiras fases do Proálcool houve ampliação do número de novos geradores de vapor maior que de turbinas e geradores de eletricidade; 3) A maioria das instalações operava com geração de vapor a temperaturas na faixa entre 260 e 300 °C, com poucas delas superando 300 °C; 4) A maioria dos geradores de vapor operava com pressões de até 2,2 MPa, com 20% deles operando acima desse valor no final dos anos 80.

No item *Tendências, alternativas e novas tecnologias*, Walter (1994) cita que certa quantidade de energia elétrica excedente poderia ser comercializada com ações de racionalização no uso de energia elétrica. E que, segundo Nogueira (1987), o acionamento de máquinas de fluxo (bombas e ventiladores) consome 60% da potência elétrica requerida nas usinas, o que indica a existência de grande potencial de reduções com redimensionamento de circuitos e seleção de máquinas e motores²². Entretanto, para viabilizar quantidade maior de potência elétrica excedente há necessidade de substituição parcial de equipamentos de geração (turbinas e geradores), principalmente adotando-se arranjos com adoção de turbinas de contrapressão ou de contrapressão e condensação parcial do vapor usado, com pressão da faixa entre 4,2 e 6,3 MPa. Comenta que existem algumas divergências, tanto do ponto de vista técnico como econômico, quanto à pressão do vapor; e que alguns técnicos advogam a uniformização da geração de vapor a uma pressão moderada, em geral não superior a 3,2 Mpa, enquanto outros sugerem a definição dos arranjos em cascata, que poderiam evoluir até a configuração de sistemas com toda a geração

²² Duas das usinas pesquisadas já adotam, há muito tempo, dispositivos de variação de frequência elétrica na alimentação de motores de potência elevada, buscando operar no ponto de máxima eficiência das máquinas acionadas.

a mais alta pressão, na faixa de 4,2 Mpa a 8,8 Mpa. Na interação com as usinas pesquisadas o autor dessa dissertação constatou que duas delas têm sistema de geração de vapor à pressão de 2,1 Mpa, gerando energia elétrica apenas para consumo próprio; pois consideram que o custo-benefício da adoção de caldeiras com altas pressões e temperaturas não se justifica, principalmente pelo maior preço e pela maior complexidade de operação e manutenção. As outras duas usinas pesquisadas têm posição oposta, com uma delas já dispoñdo de caldeira de 6,5 Mpa e turbina de extração e condensação para geração e venda de energia elétrica; e a outra investindo em nova caldeira e turbogeradores mais eficientes para operar com 9,0 Mpa, com manutenção apenas das caldeiras de 4,2 Mpa e eliminação das caldeiras com pressão de 2,1 Mpa. Essas duas usinas têm também projetos de eletrificação no acionamento das moendas para melhorar a eficiência energética global das plantas, com conseqüente maior disponibilidade de energia elétrica para venda.

Em adição a aspectos de cogeração em usinas de açúcar e álcool similares aos abordados acima, Souza (2002) traz considerações sobre Leis, Decretos e Resoluções da Aneel, principal motivo da decisão de inclusão dessa obra na dissertação, visando ao entendimento dos aspectos legais e comerciais da atividade de cogeração.

Na introdução ele apresenta uma tabela com a oferta de energia, por tipo de combustível, de 1940 até 2000 (em %), sobre a qual comenta a evolução da oferta de lenha e de produtos da cana-de-açúcar. Do ano 1940 ao ano 2000 a lenha evoluiu de 80,5% para 8,3%, enquanto os produtos da cana-de-açúcar evoluíram de 2,3% para 7,6%. Comenta que se não tivesse havido a interrupção do Proálcool (decorrentes da redução do preço internacional do petróleo), a participação dos produtos da cana-de-açúcar no ano 2000 estaria no patamar de 10%, como ocorreu no auge do programa. Consulta pelo autor dessa dissertação ao BEN mostra que, para 2006, o percentual dos derivados da cana-de-açúcar em relação à oferta total de energia é 14,6 %, e em relação ao total de energias renováveis ofertadas é 32,6 %.

Com as expectativas atuais de crescimento dos mercados interno e externo de álcool e a conseqüente expansão da produção de cana-de-açúcar para atender tais demandas, os derivados da cana passarão a ter um percentual de participação bem mais expressivo. A previsão de produção de cana-de-açúcar para safra 2007/2008 é de 528 milhões de toneladas, contendo aproximadamente 75,5 milhões de toneladas equivalentes de ART (Açúcares Redutores Totais). Se esse total de ART fosse alocado somente para álcool poderiam se produzidos 42,2 bilhões de

litros de álcool, considerando 143 kg de ART por tonelada de cana e eficiência global de 82 % na transformação do ART em álcool. O bagaço (com 50% de umidade) contido na produção estimada de cana seria de 132 milhões de toneladas (250 kg de bagaço por tonelada de cana). Considerando o poder calorífico do bagaço gerado em 1800 Kcal/kg, a energia nele contida seria de 276 milhões de MWh, com potência bruta equivalente de 54.817 MW considerando sete meses de safra. Se 20% do bagaço produzido fosse alocado na geração de energia elétrica para venda, considerando uma eficiência global de 50 % nos sistemas de cogeração, poderia ser comercializada uma potência de 6.140 MW durante os sete meses de safra.

No item 2 Souza transcreve, dentre outras considerações e citações sobre fontes energéticas renováveis no Brasil, a definição de cogeração conforme Resolução 21 da Aneel, de 20.01.2000: *a cogeração de energia é definida como o processo de produção combinada de calor e energia mecânica, geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia química disponibilizada por um ou mais combustíveis.*

A *Evolução da Geração de Energia Elétrica por meio do Bagaço de Cana* é tratada por Souza no item 3 de seu trabalho. Comenta que a Usina São Francisco, de Sertãozinho, foi pioneira em 1987 no fornecimento à Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) de energia elétrica gerada por meio do bagaço de cana, tendo despertado interesse da Eletrobrás em dinamizar a cogeração de energia elétrica por parte do setor sucroalcooleiro. O autor considera que, pelo fato do bagaço apresentar deterioração por fermentação quando estocado por longo período, deve ser usado para geração de energia elétrica à medida que vai sendo produzido durante a safra. A vantagem da cogeração de eletricidade com bagaço no período de safra é a injeção de energia elétrica no sistema de transmissão e distribuição no período de redução do índice pluviométrico, de queda do nível da represas das usinas hidrelétricas.

Cita os dois tipos de produtores de energia: Autoprodutor (Decreto 2003 da Aneel, de 10/09/1996) e Produtor Independente de Energia Elétrica (Lei 9.074/95). O Autoprodutor (AP) pode ser Pessoa Física, enquanto o Produtor Independente de Energia (PIE) deve ser sempre Pessoa Jurídica. O Decreto 2.003, de 10/09/1996, definiu as formas de comercialização da energia co-gerada por parte dos PIEs através de seis diferentes agentes do setor elétrico. Mas a comercialização através desses diferentes agentes só se tornou passível com a promulgação da Resolução 281 pela Aneel em 01/10/1999, estabelecendo as condições de acesso e uso do sistema de transmissão e distribuição de eletricidade. Até então o excedente gerado pelas usinas só

podiam ser comercializados através das distribuidoras locais. Para uso do sistema interligado nacional o PIE tem que firmar contrato de uso com o Operador Nacional do Sistema (ONS), que tem a função principal de planejamento e operação dos sistemas interligados. Há ainda a necessidade do PIE firmar contratos com a distribuidora local para acesso ao sistema de transmissão.

O autor apresenta uma tabela oriunda do BEN, que mostra a evolução da produção de eletricidade pelos geradores públicos, autoprodutores e PIEs de 1982 até 2000. No ano 2000 os autoprodutores e PIEs geraram 7,3% da energia elétrica total gerada no país. No final de 2001 esse número já era de 10%. Segundo dados do Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio), o Brasil apresenta um potencial de geração de energia por biomassa de 5.261 MW. No setor sucroalcooleiro o Brasil tinha capacidade instalada, em 2001, de 1.541 MW. Somente São Paulo apresentava 807 MW, 52% do país. São apresentados também detalhes da *Linha de Financiamento Específica para a Cogeração Sucroalcooleira*, com citação de onze condições do Programa do BNDES para financiamento dos projetos de cogeração que utilizam resíduos de cana. Apresenta diversos casos de financiamentos ocorridos, com montantes de investimentos concedidos e correspondentes potências de geração. Cita, da fonte Brasil Energia 2001, que até novembro/2001 o BNDES havia recebido projetos encaminhados por 21 usinas, totalizando R\$660 milhões para um total de geração de 620 MW²³.

Com relação à *Evolução do Preço de MWh Co-gerado no Setor Sucroalcooleiro* mostra que os primeiros contratos de permuta de energia entre co-geradores e distribuidores, no caso a CPFL, ocorreram em 1987. As concessionárias locais foram pioneiras nesse tipo de transação. Um aspecto relevante nas transações locais é que elas apresentam a vantagem de não necessidade de investimentos em sistemas de transmissão, pois a distribuidora já está conectada ao sistema. Também os investimentos na conexão com as linhas de distribuição são mínimos, pois a distribuidora já tem seu sistema instalado na região. Antes do avanço do processo de reestruturação do setor elétrico a permuta ou venda direta de energia diretamente para a concessionária local eram as únicas duas possibilidades. Com a reestruturação do setor de energia, os co-geradores do setor sucroalcooleiro passaram a ter a possibilidade de comercializar com as demais distribuidoras do sistema interligado, desde que assumissem os encargos de conexão aos sistemas de transmissão e distribuição, principalmente o pagamentos aos

²³ Esses números resultam em um investimento relativo de R\$1.065,00/kW.

proprietários desses sistemas. Inicialmente os contratos de comercialização de energia eram de curto prazo, de dois ou três anos, passando logo em seguida para contratos de longo prazo, de dez anos. Com as contratações de longo prazo os preços praticados eram melhores. Até a safra de 1999/2000 a CPFL remunerava os contratos de curto com preços da ordem de R\$13,00/MWh, enquanto para os contratos de longa duração os valores eram de ordem de R\$40,00/MWh. Posteriormente os cogeneradores passaram a comercializar energia com consumidores livres, arcando com os encargos de distribuição e transmissão. Em alguns casos, como não era o foco principal dos cogeneradores comercializarem energia, alguns produtores passaram a contratar as atividades de comercialização com empresas especializadas. Mesmo assim, com todos esses encargos, a comercialização com os consumidores livres dava uma vantagem da ordem de 5% a 10% para os compradores relativamente aos preços que pagariam comprando diretamente das distribuidoras locais. E os co-generadores também acabavam conseguindo preços mais atrativos do que se vendessem diretamente para as distribuidoras locais. Independentemente dos aspectos de remuneração, a consolidação da figura do agente intermediário especializado de comercialização é a potencial contribuição à competição no setor elétrico.

Souza trata ainda das questões de preço da energia de cogeração com bagaço de cana, considerando que ele depende de aspectos tais como geração firme durante o ano, potencial de expansão, possibilidade de escala e prazos dos contratos. Considera a importância de uso também da palha (folhas secas, folhas verdes e ponteiros) para melhorar as condições de preço atendendo alguns dos itens acima citados, mas é importante levar em consideração o custo de colocação da palha nas usinas.

Em uma das usinas pesquisadas desta dissertação está avançado o processo de testes para bom aproveitamento da palha para cogeração e geração fora de safra. Inclusive com investimentos em andamento para conseguir condições de custos operacionais totais que sejam compatíveis com os preços praticados pelo mercado para energia elétrica de fontes renováveis, particularmente a da biomassa (caso do bagaço e da palha). Recentes estímulos através do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) pelo governo federal, incluindo linha de financiamento pelo BNDES, têm proporcionado decisões no setor sucroalcooleiro de ampliação de geração de energia cogenerada, e mesmo de energia gerada com turbinas de condensação total fora do período de safra com uso de palha de cana.

Souza comenta que como forma de incentivar o desenvolvimento de fontes energéticas renováveis a Aneel fixou um Valor Normativo (VN) com níveis considerados atrativos para os respectivos setores. Apresenta uma tabela dos VNs conforme Resolução 22 da Aneel, de 01/02/2001. Esses Valores Normativos vêm sendo ajustados ao longo do tempo para atingir seu objetivo de promover o crescimento relativo da oferta de energia de fontes renováveis na matriz energética nacional. Com os valores negociados no último leilão havido, uma das usinas pesquisadas nesta dissertação e uma outra do mesmo grupo de investidores estão ampliando seus sistemas de utilidades com instalação de caldeiras e turbogeradores de alta eficiência, com previsão de uso de bagaço e palha de cana. Em contrapartida, visando reduzir o consumo de seus processos industriais e conseqüente aumento da sobra de bagaço para geração elétrica a ser vendida, estão investindo no aumento da eficiência dos seus processos industriais.

2.6.2 Conceitos e características do processo de cogeração

A cogeração é um processo que permite a obtenção de alta eficiência energética quando há demanda local concomitante de energia térmica e energia elétrica e mecânica, tanto em instalações industriais de produção como de serviços. As principais instalações de produção que adotam a cogeração são as de derivados de petróleo (refinarias), produtos petroquímicos, papel e celulose, alimentos, vidros, cerâmicas, dentre outras. Dentre as instalações de serviço estão hospitais, hotéis, grandes instalações comerciais, centros de pesquisa e conjuntos residenciais (principalmente nos países de inverno rigoroso) e outros. Os sistemas de cogeração constituem uma forma racional de uso de energia primária buscando o suprimento simultâneo de energia elétrica, mecânica e térmica com uso seqüencial dos efeitos da combustão. São usuais os sistemas de cogeração nos quais as máquinas motrizes são turbinas a vapor, turbinas a gás ou motores de combustão interna.

Nogueira (1987) comenta que a cogeração é uma tecnologia conhecida desde o século antepassado, quando tiveram intensa difusão. E que por volta de 1900 a cogeração era responsável pela produção de 58% da energia elétrica nos EUA, caindo para apenas 4% em 1974. Tal queda pode ser atribuída a diversos fatores, entre os quais se destaca a expansão das redes elétricas de transmissão, o aumento da confiabilidade e qualidade do serviço público e a redução dos custos reais da energia servida pelas concessionárias. Já na Europa, pela não disponibilidade desses fatores até meados do século passado, a experiência com cogeração teve maior

continuidade. Segundo Walter (1994), o declínio da cogeração foi mais acentuado após a segunda guerra, devido à manutenção de preços baixos dos insumos energéticos e com a contínua organização dos sistemas elétricos centralizados.

Segundo Nogueira (1987), os sistemas adotados para cogeração em instalações de produção podem ser divididos em dois grupos (Figura 8), em função do nível de temperatura requerido no processo. Algumas indústrias como as de produção de vidro e materiais cerâmicos usam altas temperaturas nos seus processos, com o calor rejeitado sendo usado para geração de vapor e eletricidade. Nogueira afirma que são mais comuns indústrias que usam temperaturas baixas nos seus processos, onde os sistemas de cogeração usam o calor da combustão para geração de vapor e energia elétrica, com o vapor de baixa pressão e temperatura de extração das turbinas sendo usado nos processos industriais. Essa concepção é usada nas instalações industriais de produção de alimentos, dentre elas as usinas de açúcar. A Figura 8 mostra essa concepção com adoção de turbinas a vapor (mais usual) e com turbinas a gás.

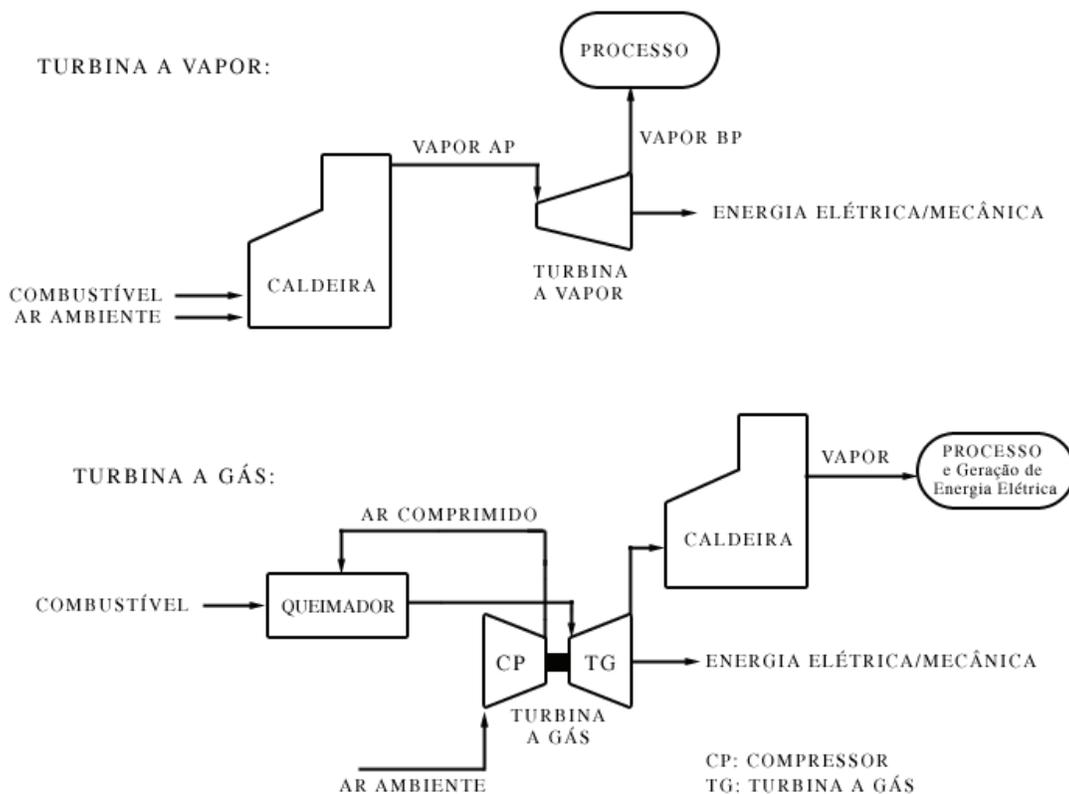


Figura 8 - Sistemas de cogeração. Elaborada pelo autor (fonte: Nogueira, 1987, p. 56)

Walter (1994) considera a existência de três concepções distintas de cogeração. A primeira são as centrais termoelétricas, com o calor rejeitado do ciclo termodinâmico de produção de potência sendo aproveitado como fluxo de vapor para uso em instalações industriais próximas. Este sistema pode atender também as necessidades de calor das comunidades próximas à central termoelétrica, geralmente através das chamadas redes de calor ou sistemas de calor distrital. A segunda concepção é a produção combinada de calor e potência nas instalações industriais. Nestes casos o vapor é usado no processo industrial e a geração elétrica supre as necessidades de consumo próprio da indústria, com venda externa de excedente de energia elétrica. Usinas de açúcar e álcool são instalações industriais que usam essa concepção de cogeração, mostradas na Figura 9 e na Figura 10. A terceira concepção é a cogeração no chamado setor terciário, quando a demanda de calor e potência pode ser atendida pelo mesmo sistema, convencionalmente designado de *sistema integrado de energia*. São adotados em escolas, universidades, hotéis, hospitais, supermercados, conjuntos residenciais, centros de pesquisa, centros de lazer, bancos, etc.

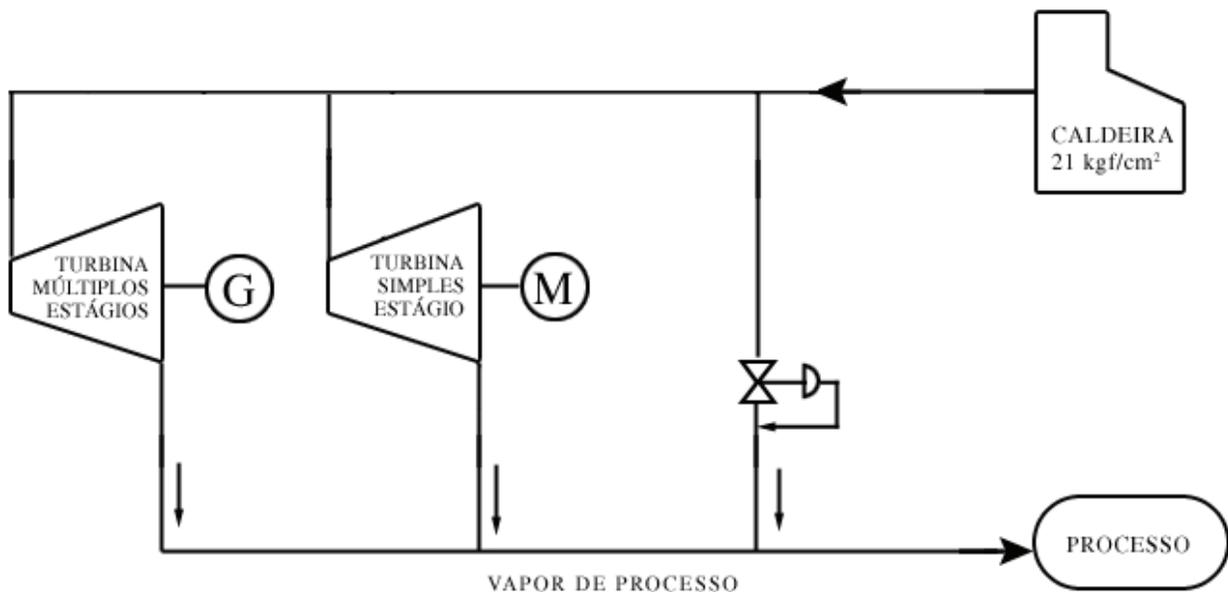
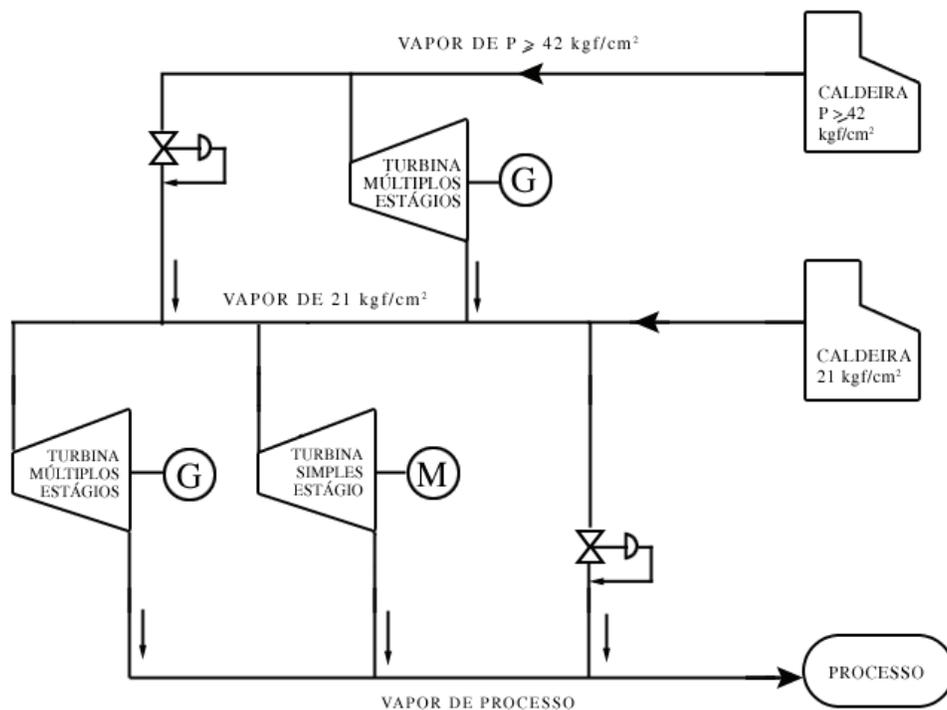


Figura 9 - Concepção de cogeração em usinas de açúcar e álcool, com caldeiras de 21 kgf/cm². Elaborada pelo autor (fonte: Copersucar, 1993 p.235).



Figuras 10 - Concepção de cogeração em usinas de açúcar e álcool, com caldeiras de pressão maior que 42 kgf/cm². Elaborada pelo autor (fonte: Copersucar, 1993, p.236)

Nogueira (1987) trata da caracterização do setor industrial e do sistema de cogeração, considerando que o setor industrial é consumidor de dois tipos básicos de energia: 1) *energia térmica*, para calor de processo em operações de secagem, aquecimento, cozimento, evaporação, etc.; e 2) *energia elétrica e mecânica*, para operações de moagem, bombeamento, compressão, usinagem, transporte, etc. Esses dois tipos básicos de energia são usados para definir o parâmetro α de caracterização do setor usuário de cogeração, definido como a relação entre a energia elétrica e mecânica e a energia térmica, *requeridas pelo setor industrial* para a produção. Da mesma forma, o parâmetro β , que caracteriza o sistema de cogeração, é a relação entre a energia elétrica e mecânica e a energia térmica, *produzidas pelo sistema de cogeração*. Faz considerações detalhadas sobre os dois parâmetros, apresentando tabela com os valores típicos de α para os principais setores industriais. Focando mais especificamente sistemas de usinas de açúcar e álcool apresenta uma figura que mostra o parâmetro β em função da eficiência das turbinas a vapor e dos diversos níveis de pressão e temperatura de vapor de uso mais freqüente nas usinas. Nogueira faz considerações sobre as três possibilidades de relação entre α e β . No primeiro caso, considerado ideal, de $\alpha = \beta$, há perfeito equilíbrio entre as demandas e ofertas de energias. Os dois outros casos são de $\alpha > \beta$ e $\alpha < \beta$, com demanda respectivamente maior e menor que a oferta

de energia elétrica e mecânica relativamente à energia térmica. Quando $\alpha > \beta$ (processo requer mais energia elétrica e mecânica do que a cogeração pode fornecer) é necessário buscar o suprimento complementar de energia elétrica externamente; quando $\alpha < \beta$ (processo requer menos energia elétrica e mecânica do que a cogeração pode fornecer) há sobra de energia elétrica co-gerada, disponível para fornecimento ao sistema externo.

Cita os principais consumos energéticos típicos das usinas de açúcar e álcool do Brasil, considerados para caracterização do parâmetro α desse setor industrial. Considera o consumo de energia elétrica em 11,5 KWh/tc; o consumo de energia mecânica em 20 KWh/tc; e o consumo de vapor de processo entre 400 e 600 kg/tc. Os dados obtidos na interação com as usinas pesquisadas mostram que o consumo energético delas difere muito, ficando claro que depende diretamente da estratégia da usina de gerar ou não energia elétrica para comercialização. Quando há estratégia de comercialização de energia elétrica, são adotadas ações de racionalização de consumo de energia térmica e elétrica nos processos visando à maximização de geração de energia elétrica; nesse caso, geralmente é também promovida a modernização do sistema de utilidades, com instalação de geradores de vapor com altas pressões e temperaturas e de turbogeradores de grande porte, resultando em altas eficiências de conversão da energia do combustível usado (bagaço e palha) em energia térmica e elétrica.

Walter (1994) cita também a alternativa de uso de arranjo com gaseificação de biomassas, para acionamento de turbina a gás e geração de vapor complementar em caldeira de recuperação de calor para acionamento de turbinas a vapor.

Pelas considerações acima expostas sobre cogeração; pela pressão mundial em prol do uso de combustíveis renováveis para combate ao efeito estufa; pela atuação do governo brasileiro de estímulo a produção de energia a partir de fontes energéticas renováveis (principalmente da cana-de-açúcar); e pelas informações sobre estratégias energéticas obtidas das usinas pesquisadas (uma pequena amostragem do que deve estar ocorrendo no setor), pode-se concluir que a ampliação da cogeração deverá ocorrer intensamente no ramo sucroalcooleiro no Brasil; e em percentual superior ao da ampliação da produção da cana-de-açúcar, pois se dará não apenas sobre o incremento da produção da cana, mas também sobre a sua produção atual, onde são pouco aproveitados o bagaço e a palha para fins energéticos. A análise sobre concepções de cogeração em usinas de açúcar e álcool é apresentada adiante no item 3.2, mostrando claramente o potencial da cogeração com a ampliação do uso do bagaço e da palha de cana-de-açúcar.

3 Análises sobre produção de cana-de-açúcar e cogeração em usinas

3.1 Análise energética da produção de cana-de-açúcar

3.1.1 Introdução

A análise energética da produção de cana-de-açúcar, visando também à análise emergética - Odum (1996) e Pereira e Dalbem (2006) -, foi realizada com base em dados e informações de uma unidade de produção da região de Lençóis Paulista (latitude S22°36' e longitude W48°40'), com área de cultivo de 7.385 hectares. Os dados e informações, em grande parte, foram obtidos diretamente dos registros gerenciais das atividades desenvolvidas, relativos à safra de 2004/2005. A produção anual nessa área é de cerca de 500.000 t de cana-de-açúcar, toda destinada à produção de açúcar e álcool em uma usina com capacidade anual de processamento da ordem de 3,5 milhões de toneladas. A distância média da usina à área de produção é de 21 km.

Os tipos de solos predominantes na área considerada são os arenosos, como pode ser observado na Tabela 1. Até algumas décadas atrás, parte dessa área não era usada para produção de cana-de-açúcar devido à sua baixa fertilidade. Atualmente essa parte vem sendo cultivada com novas variedades de cana-de-açúcar adequadas às suas características específicas. Embora a produtividade obtida não seja equivalente à de solos argilosos, seu uso para produção de cana-de-açúcar é justificável pela proximidade da usina e por seu menor preço comercial. Nos últimos anos a fertilidade dessa parte menos produtiva de solo vem sendo melhorada com vinhaça e torta de filtro, que são aplicadas em 44% e 17% da área total, respectivamente. A vinhaça é aplicada no cultivo após cada colheita anual e a torta de filtro é aplicada no plantio. Além da matéria orgânica contida nesses compostos reciclados da usina para a lavoura, a vinhaça é rica em potássio e a torta de filtro em fósforo, elementos que são complementados pela adubação química para atingir os níveis recomendados pelas análises de solo.

Conforme apresentado na Tabela 1 a produtividade média esperada para a área considerada é de 80,2 t/ha em cada colheita anual. Considerando o ciclo de seis anos, com cinco colheitas sequenciais intercaladas com um ano de plantio de renovação da cultura, a produtividade média esperada cai para 66,8 t/ha. As produtividades reais da safra 2004/2005, consideradas na presente análise, foram 76,7 t/ha (ciclo de cinco anos) e 63,9 t/ha (ciclo de seis anos), respectivamente.

Tabela 1 - Tipos de solo e produtividades esperadas (fonte: Agrícola Rio Claro)

item	Tipo de solo	Sigla	Argila %	Área		Produtividade esperada por corte (t/ha)					
				ha	%	1º	2º	3º	4º	5º	Média
1	AREIAS QUARTZOSAS	AQ	Até 15	2.377,70	32,20	100	85	75	65	55	76
2	LATOSSOL VERMELHO ESCURO	LE	15 a 25	1.021,70	13,84	115	90	78	65	60	82
3	LATOSSOL VERMELHO AMARELO	LV	15 a 25	2.496,16	33,80	110	85	75	65	60	79
4	PODZOL VERMELHO AMARELO	PV	25 - 40	1.110,40	15,04	120	90	80	75	65	86
5	TERRA ROXA / LATOSSOL ROXO	TR / LR	> 50	378,54	5,13	130	100	90	80	70	94
6	ÁREA TOTAL (todos os solos)			7.384,50	100,00						
7	Média esperada (por corte)					110,0	87,2	76,9	67,3	59,7	80,2
8	Média esperada (ciclo de 6 anos)					91,7	72,7	64,1	56,1	49,7	66,8
9	Média real (por corte)					105,2	83,4	73,6	64,3	57,0	76,7
10	Média real (ciclo 6 anos)					87,7	69,5	61,3	53,6	47,5	63,9
11	Produção percentual (por corte)					27,4	21,7	19,2	16,8	14,9	100,0

3.1.2 Principais processos agrícolas

Os principais processos e as atividades que os compõem são descritos abaixo:

Preparo do solo: erradicação química das soqueiras; aplicação de calcário e gesso; aração ou subsolagem; gradagem leve e/ou pesada; e, construção e/ou manutenção de terraços em curva de nível (prevenção contra erosão pela chuva).

Plantio: colheita das mudas (corte manual); carregamento; transporte; sulcação e adubação; aplicação de torta de filtro e defensivos; espalhamento e picação (fracionamento em pedaços) das mudas nos sulcos; cobertura das mudas; e, aplicação de herbicida.

Tratos culturais (cultivo): enleiramento do palhicho; adubação mineral; aplicação de vinhaça; combate às formigas e outras pragas; aplicação de herbicidas; e, outros serviços (capina manual, conservação de carreadores, estradas e drenos de água de chuva, manutenção de divisas da propriedade com terceiros e matas ciliares, etc.).

Colheita e entrega da produção: programação de colheita; construção de aceiros, a queima e o corte manual; carregamento mecânico de cana inteira (proveniente de corte manual); reboque das cargas de cana inteira até carreadores vicinais para engate nos caminhões; corte e carregamento mecanizado (cana crua, sem queima); transbordo de carga de cana colhida mecanicamente; reboque das cargas de colheita mecanizada até carreadores vicinais para engate nos caminhões; transporte das cargas até a usina; e, serviços gerais (coleta de resíduos de colheita, arrumação das cargas nos vagões de transporte, etc.).

Serviços de apoio: transporte (adubo, calcário, torta, água, herbicidas, inseticidas, equipamentos e ferramentas, combustíveis, lubrificantes, peças sobressalentes e materiais de

manutenção, pessoal, etc.); manutenção de equipamentos (preventiva e corretiva, abastecimento, lubrificação, lavagem e limpeza, serviços de terceiros, etc.); administrativos (escritório central, comunicação, registros de campo, compras e gestão de estoques de sobressalentes e outros materiais, etc.); e, vigilância e combate a incêndios.

3.1.3 Coleta e tratamento de dados para a análise

Os dados e informações relativos aos processos e atividades acima descritos foram coletados, em sua maioria, dos registros eletrônicos nos sistemas computacionais usados para gerenciamento da produção, em conjunto com os agrônomos e gerentes responsáveis pela produção. Os insumos foram alocados por processos e atividades, individualmente ou em blocos, conforme mostrado na Tabela 2. Essa tabela mostra os principais processos e atividades para Plantio, Tratos culturais, Colheita e entrega da cana (corte, carregamento, transbordo, reboque e transporte) e Administração, incluindo as atividades de apoios diretos e indiretos.

Tabela 2 - Alocação dos insumos por processos e atividades. Elaborada pelo autor.

PROCESSOS E ATIVIDADES	Qde	unid	PROCESSOS E ATIVIDADES	Qde	unid
1. PLANTIO			2.5. Apoio direto		
1.1. Preparo do solo			2.5.1. Abastecimento		
1.1.1. Erradicação química soqueiras			2.5.2. Manutenção		
1.1.2. Aplicação calcário e gesso			2.5.3. Transporte adubos		
1.1.3. Aração / Subsolação			2.5.4. Transporte herbicidas/defensivos		
1.1.4. Terraceamento			2.5.5. Manutenção acessos, drenos, etc		
1.1.5. Gradagem			2.5.6. Prevenção incêndio		
1.2. Plantio (propriamente dito)			2.6. Transporte de Pessoal		
1.2.1. Sulcação / Adubação			2.6.1. Rurícolas		
1.2.2. Aplicação de torta e defensivos			2.6.2. Funcionários próprios		
1.2.3. Corte de mudas			2.6.3. Supervisão		
1.2.4. Carregamento de mudas			2.7. Apoio indireto		
1.2.5. Reboque carregamento de mudas			2.7.1. Transporte adubos		
1.2.6. Transporte mudas			2.7.2. Bombeio vinhaça		
1.2.7. Espalhamento e picação mudas			3. CORTE, CARREG. TRANSP.		
1.2.8. Cobrição mudas			3.1. Corte mecanizado (cana crua)		
1.2.9. Aplicação de herbicida			3.1.1. Colhetadeira		
1.3. Apoio direto			3.1.2. Transbordo		
1.3.1. Abastecimento			3.2. Corte manual (cana queimada)		
1.3.2. Manutenção			3.2.1. Acero e queima		
1.3.3. Transp adubo/torta/gesso/calcário			3.2.2. Corte manual		
1.3.4. Transporte defensivos/herbicidas			3.3. Transporte da cana		
1.3.5. Prevenção incêndio			3.3.1. Carregamento mecânico		
1.4. Transporte de Pessoal			3.3.2. Reboque carregto mecânico		
1.4.1. Rurícolas			3.3.3. Transporte cana corte manual		
1.4.2. Funcionários próprios			3.3.4. Reboque carregto mecanizado		
1.4.3. Supervisão			3.3.5. Transp. cana corte mecanizado		
1.5. Apoio indireto			3.4. Apoio direto		
1.5.1. Transporte adubo/gesso-Cubatão			3.4.1. Abastecimento		
1.5.2. Transporte calcário-Rio Claro			3.4.2. Manutenção		
1.5.2. Preparo e transporte de torta			3.4.3. Transporte colhetadeira		
2. CULTIVO			3.4.4. Manutenção acessos e estradas		
2.1. Enleiramento palha			3.5. Transporte de Pessoal		
2.2. Adubação (cobertura)			3.5.1. Cortadores		
2.3. Aplicação vinhaça			3.5.2. Rurícolas		
2.3.1. Transporte vinhaça (caminhão)			3.5.3. Funcionários próprios		
2.3.2. Reboque equipamentos			3.5.4. Supervisão		
2.3.3. Aspersão (caminhão/equípto.)			4. ADMINISTRAÇÃO		
2.4. Controle de pragas e capinas			4.1. Consumo oficina (equiv. diesel)		
2.4.1. Aplicação mecanizada herbicida			4.2. Transp. pessoas/comb/lubríf/mat		
2.4.2. Aplicação manual herbicidas			4.3. Serviços de terceiros		
2.4.3. Capina manual			4.4. Cons. escritório (equiv. diesel)		
2.4.4. Controle formigas/outras pragas			4.5. Locomoção gerentes e pessoas		

Especificamente para consumo de diesel, real e equivalente, a segregação foi bastante detalhada, permitindo a análise dos consumos nos cultivos e nas colheitas seqüenciais, do primeiro ao quinto corte. Essa segregação visou também à identificação dos consumos pelas três principais finalidades de aplicação: uso direto nas atividades agrícolas propriamente ditas, nos apoios diretos e nos apoios indiretos, conforme abaixo detalhado.

- a) uso direto nas atividades agrícolas: plantio, cultivo, corte, carregamento e transporte, incluindo o reboque das cargas até os carreadores;
- b) uso nos serviços de apoio direto às atividades agrícolas: transportes (inclui pessoas), prevenção e/ou combate a incêndio, abastecimento, lubrificação e manutenção de equipamentos e outros; e,
- c) uso nos serviços de apoio indireto às atividades agrícolas: transporte de adubo e de gesso (Cubatão) e calcário (Rio Claro) até os locais de armazenamento próximos aos de aplicação, preparação da torta de filtro (área de compostagem da usina) e bombeio de vinhaça (energia elétrica gasta, em diesel equivalente).

O consumo de eletricidade com bombeio de vinhaça, atividades de oficina mecânica e escritório, e de álcool carburante com veículos *flex*, foram convertidos para diesel equivalente diretamente pelos conteúdos energéticos correspondentes, sem considerar as diferenças de eficiências de uso das diferentes fontes energéticas.

Para viabilizar a análise emergética - Pereira e Dalbem (2006) - os dados e informações relativos aos insumos considerados na produção da cana-de-açúcar foram considerados de duas principais origens: insumos *da natureza* e insumos *da economia*.

Os insumos da *natureza* foram segregados em:

- a) solo (resultante dos processos geológicos); e,
- b) água de superfície (proveniente da precipitação pluviométrica).

Os insumos da *economia* foram segregados em:

- a) Conservação do solo (proteção contra erosão e aplicação de calcário e gesso);
- b) Fertilizantes químicos, torta de filtro e vinhaça;
- c) Produtos químicos (herbicidas, inseticidas, maturadores, etc.);
- d) Mudanças de cana-de-açúcar (plantio);
- e) Sementes de leguminosas (cobertura e adubação vegetal no pré-plantio);
- f) Equipamentos;

- g) Combustíveis e lubrificantes;
- h) Peças e materiais;
- i) Mão de obra;
- j) Serviços; e,
- k) Tecnologia.

3.1.4 Apresentação de consumos de diesel consolidados e alguns indicadores de resultados.

Os dados resultantes dos cálculos consolidados para a análise energética estão apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5. A Tabela 3 mostra a distribuição do consumo de diesel nas atividades agrícolas propriamente ditas, nas atividades de apoio direto e de apoio indireto a essas atividades. A Tabela 4 mostra o consumo de diesel nas atividades de CCT (corte, carregamento e transporte). A Tabela 5 mostra a distribuição do consumo de diesel no plantio e nas colheitas (primeiro ao quinto cortes), segregando os consumos na Colheita (corte, carregamento, transbordo, reboque e transporte) e no Cultivo após cada colheita, incluindo os consumos nos apoios diretos e indiretos. Os dados da Tabela 5 estão apresentados graficamente na Figura 11.

Tabela 3 - Consumo global de diesel por finalidade de aplicação. Elaborada pelo autor.

Unid	Atividade agricola	Apoio direto	Apoio indireto	Total
l	823.403	135.870	117.679	1.076.953
%	76,5	12,6	10,9	100,0
l/tc	1,74	0,29	0,25	2,28

Tabela 4 - Consumo diesel no reboque e transporte e total do CCT. Elaborada pelo autor.

Unid	Reboque	Transporte	Reboque+Transp	Total CCT
l	105.271	283.599	388.870	605.232
%	17,4	46,9	64,3	100,0
l/tc	0,22	0,60	0,82	1,28

Tabela 5 - Consumo total de diesel no plantio, colheita e cultivo. Elaborada pelo autor.

Unid	Plantio	Colheita 1		Colheita 2		Colheita 3		Colheita 4		Colheita 5		Total
		Colheita	Cultivo									
l	268.206	130.976	33.438	124.152	44.952	110.846	44.952	98.333	33.438	167.614	20.045	1.076.953
l/tc	0,568	0,277	0,071	0,263	0,095	0,235	0,095	0,208	0,071	0,355	0,042	2,281
%	24,90	12,16	3,10	11,53	4,17	10,29	4,17	9,13	3,10	15,56	1,86	100,00
%	24,90	15,27		15,70		14,47		12,24		17,43		100,00

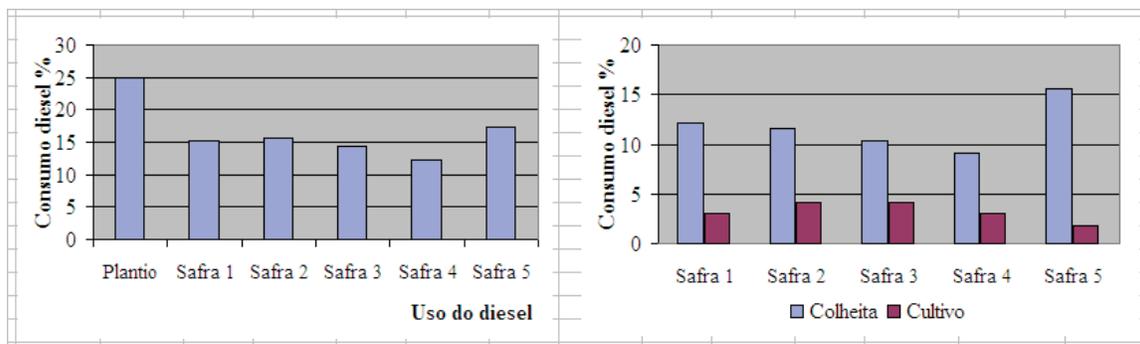


Figura 11 – Distribuição percentual do consumo de diesel. Elaborada pelo autor.

3.1.5 Considerações e comentários sobre resultados e práticas agrícolas.

Na Tabela 3 pode ser observado que o consumo direto de diesel nas atividades agrícolas representa praticamente 80% do consumo total, com consumo específico de 1,74 l/tc no total de 2,28 l/tc.

Conforme Tabela 4, o consumo de diesel nas atividades de CCT (corte, carregamento e transporte) é de 1,28 l/tc, representando 63,1% do consumo total nas atividades agrícolas e seus apoios diretos. O consumo apenas com transporte, incluindo o reboque das cargas até os carregadores, é de 0,82 l/tc, representando 64,0% do consumo total do CCT. O restante é alocado para apoios diretos, carregamento mecânico de cana inteira e colheita mecanizada (corte e transbordo). É conveniente ressaltar que, na presente análise, a colheita mecanizada tem impacto pequeno no consumo total de CCT pelo valor ainda reduzido de colheita por essa modalidade no ano-safra considerado.

O consumo específico com transporte propriamente dito, das cargas dos carregadores até a usina, é de 0,60 l/tc, valor bastante baixo pela prática de uso de um só caminhão (cavalo mecânico) para puxar três a quatro vagões (julietas) em adição à carga principal diretamente conectada ao cavalo mecânico. Essa prática só é possível pelo fato dos caminhões trafegarem em estradas rurais de baixa declividade, utilizadas quase que exclusivamente para o transporte de cana-de-açúcar e atividades correlatas. Considerando a distância média da área de produção considerada nesta análise à usina, o consumo específico é de 14,3 ml/t.km; Isaias e Nogueira, 1987, p.95 apresentam consumo de 22,0 ml/t.km (cenário 2). O consumo específico mais recente, apresentado por Isaias de Carvalho Macedo em trabalho elaborado para Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo em 2004 (*Assessment of greenhouse gas emissions in the*

production and use of fuel ethanol in Brazil) , não incluído na bibliografia desta análise, é de 15,7 ml/t.km, ligeiramente acima do obtido nesta análise (14,3 ml/t.km).

A Tabela 5 mostra que o consumo total de diesel nas atividades relacionadas com o plantio representa 25 % do total de consumo do ano safra. Mostra também que os consumos percentuais de diesel são decrescentes da colheita 1 até a colheita 4, pois são praticamente proporcionais à cana colhida, cuja produtividade decresce do primeiro ao quinto corte, como mostrado na Tabela 1. O maior consumo de diesel na quinta e na última colheita é devido ao corte mecanizado parcial, concentrado nessa colheita. Através dessa Tabela 5 pode ser observado também que o consumo de diesel no cultivo é maior após as colheitas 2 e 3 (segundo e terceiro cortes após plantio); isso se deve ao volume de calcário e gesso aplicados nessas etapas para melhoria de produtividade do solo (prática não comum ou na mesma intensidade nos solos argilosos) e não aplicados nos cultivos após as colheitas 4 e 5 por decisão técnico-econômica dos gestores da área de produção considerada. O consumo de diesel com aplicação de vinhaça, bastante significativo, é uniformemente distribuído nos cultivos após as cinco colheitas.

Após a colheita 5 o consumo do cultivo decresce significativamente pelo fato da área receber menores cuidados, pois será preparada após a quinta e última colheita para o novo plantio que ocorrerá no primeiro trimestre do ano seguinte. Após essa última colheita são adotadas algumas práticas alternativas visando à preservação do solo e seu aproveitamento útil parcial na fase de transição entre a colheita e o plantio. A prática mais adotada é simplesmente deixar a brota da cana crescer para proteção do solo contra insolação direta e erosão no período chuvoso. No início do preparo do solo para plantio é feita erradicação química das soqueiras, com uso de herbicidas, e sua incorporação ao solo. Outra prática é o uso do solo para plantio de oleaginosas, principalmente amendoim e soja, que trazem os benefícios de resultado econômico-comercial e de proteção parcial do solo contra insolação direta e erosão no período chuvoso; além de antecipar o início de preparo do solo, reduzindo ligeiramente o pico de uso de máquinas e implementos no preparo do solo para o plantio após o término da safra. Outra prática é o uso do solo com plantas que trazem os benefícios das oleaginosas, trocando o ganho econômico da venda comercial da produção pela fixação de nitrogênio com sua incorporação ao solo.

O consumo de diesel na colheita 5 é maior que nas demais, apesar da menor quantidade colhida, por ser adotada a colheita mecanizada parcial para cumprimento da legislação restritiva de colheita manual com queima da cana. Os gestores preferem concentrar a colheita mecanizada

na quinta e última colheita, e preferencialmente nos solos arenosos, para atenuar o efeito da compactação do solo, uma vez que ele será em seguida preparado para o plantio. O consumo maior de diesel com colheita mecanizada é devido à baixa produtividade da colhedeira nas condições de trabalho a que é submetida. Apesar da maior velocidade linear da colhedeira, seu consumo específico acaba sendo maior pela menor densidade linear de produção de cana na quinta e última colheita. Como a prática de colheita mecânica não está consolidada na região, estão sendo feitas avaliações experimentais para aumento de produtividade na colheita e melhorias de resultados de consumo específico e de compactação do solo nas próximas safras.

3.2 Análise de desempenho de concepções de cogeração em usinas de açúcar e álcool

O desempenho energético das usinas de açúcar e álcool é fortemente dependente das concepções de cogeração adotadas. A análise dos resultados de diferentes concepções foi efetuada a partir dos dados da publicação de Olivério (2003) e é apresentada a seguir. Com o objetivo de analisar os resultados de diferentes concepções de cogeração os principais dados dessa publicação foram tratados e sintetizados na Tabela 6, mostrando 11 (onze) diferentes concepções evolutivas de cogeração, adotáveis em usinas de açúcar e álcool, e os respectivos resultados de energia elétrica gerada para venda. O Apêndice V contém três figuras relativas a essa análise. A figura 22 mostra um fluxograma simplificado de produção de açúcar e álcool; a figura 23 mostra o fluxograma da concepção 1 (vide Tabela 6), do balanço energético de uma usina típica sem geração e venda de energia elétrica; e a figura 24 mostra o fluxograma da concepção 9 (vide Tabela 6), do balanço energético de uma usina que usa bagaço e palha para geração e venda de energia elétrica. Os fluxogramas de balanço energéticos das demais concepções são similares, apenas com alterações de algumas das variáveis utilizadas na análise.

Pode ser observado na Tabela 6 que as concepções de cogeração gradativamente melhoradas apresentam resultados crescentes de energia elétrica disponível para venda.

Tabela 6 – Dados de 11 concepções de cogeração em usinas de açúcar e álcool. Elaborada pelo autor.

Concepção co-geração	Pvapor kgf/cm ²	Vap/Bag tvp/tbg	Cons acion kWh/tc	Cons elétr kWh/tc	Cons proc kgvp/tc	Ger/tbg kWh/tbg	Vap/Energia tvp/MW.h	Ger/tc kWh/tc	Venda/tc kWh/tc	Venda MW
1	21	2,40	16,41	13,01	530	60	12,70	13	0	0,0
2	21	2,40	16,41	13,01	530	74	12,70	16	3	1,5
3	21	2,40	16,41	13,01	530	108	12,70	23	10	5,1
4	21	2,40	16,41	13,01	530	165	9,56	44	28	13,9
5	42	2,35	16,41	13,01	530	283	8,29	77	58	28,5
6	61	2,23	16,41	13,01	530	320	6,98	86	67	33,0
7	81	2,20	16,41	13,01	530	358	6,14	97	77	37,7
8	81	2,20	16,41	13,01	380	417	5,27	113	92	44,9
9	81	2,20	16,41	13,01	380	498	4,42	204	176	86,5
10	81	2,20	16,41	13,01	380	504	4,36	215	187	91,5
11	81	2,20	0,00	29,41	380	553	3,97	236	190	93,0
Concepção Alterações feitas nas instalações de utilidades e processo										
1	Turbinas processo de SE, de geração de ME, uso de redutora de pressão sem venda de energia.									
2	Idem 1, com substituição da redutora por TG-ME de 1,47 MW, com venda de 1,47 MW.									
3	Instalação de turbinas de ME no processo e TG-CD para 5,09 MW, com venda de 5,09 MW.									
4	Repotenciação da caldeira para uso total do bagaço e TG-CD para 15,41 MW, com venda de 13,89 MW.									
5	Caldeira nova de 42 kgf/cm ² , remoção TG de ME original, e TG-CD para 37,49 MW, c/ venda de 28,498 MW.									
6	Caldeira nova de 61 kgf/cm ² e TG-CD para 42,35 MW, com venda de 33,01 MW.									
7	Caldeira nova de 81 kgf/cm ² e TG-CD para 47,38 MW, com venda de 37,69 MW.									
8	Idem 7, redução consumo processo de 530 para 380 kgvp/tc e TG-CD para 55,17 MW, c/ venda de 44,94 MW.									
9	Idem 8, com uso de 50 % da palha produzida e TG-CD para 99,82 MW, com venda de 86,46 MW.									
10	Idem 9, com acréscimo de biogás ao bagaço e palha e TG-CD para 105,28 MW, com venda de 91,54 MW.									
11	Idem 10, substituindo turbina por motor nos acionamentos e TG-CD para 115,54 MW, c/ venda de 93,04 MW.									
Siglas:	tvp- tonelada de vapor; tbg-tonelada de bagaço; tc-tonelada de cana-de-açúcar									
Siglas:	SE-simples estágio; ME-múltiplos estágios; TG-turbogerador; CD-extração e condensação									

Para elaboração dos cálculos Olivério (2003) adotou uma usina típica de 10.000 toneladas de cana por safra de seis meses (490 tc/h), consumo de 530 kgvp/tc de vapor de processo com pressão de 1,5 kgf/cm², pressão de vapor vivo de 21 kgf/cm², teor de fibra de 13 %, poder calorífico do bagaço produzido, com 50 % de umidade, de 1.800 kcal/kgbg, e da palha de 3.100 kcal/kgpa. Foi assumido que o consumo elétrico do sistema de utilidades é de 7 % da energia gerada. Não são informadas temperaturas de vapor em nenhuma das concepções consideradas, mas certamente foi um dado importante considerado na elaboração do trabalho, sem o qual não poderiam ser feitos os cálculos que levaram aos dados apresentados.

A primeira concepção apresentada é a mais simples adotada em usinas, com caldeiras de geração de vapor de 21 kgf/cm², com a qual há sobra de 19,7 % do bagaço produzido, não aproveitado para geração e venda de energia elétrica. Nessa concepção as usinas são autosuficientes em energia elétrica, com geração de 6.373 kW através de turbina de múltiplos

estágios e de extração total (vapor de aquecimento), apenas para atender seu consumo próprio. As usinas C e D pesquisadas nessa dissertação adotam tal concepção, mas com sobra de bagaço bem menor que 19,7 % considerada nessa primeira concepção, como mostrado na Tabela 7. Como essas usinas não adotam a estratégia de investir em cogeração para venda de energia, elas não priorizam a maximização de sobra do bagaço, vendendo *in natura* a pequena sobra disponível. A taxa bruta de geração de energia elétrica nessa concepção é de 60 kWh por tonelada de bagaço.

Na concepção 2 continua havendo sobra de 19,7 % do bagaço produzido, mas com melhor eficiência térmica pela substituição da válvula redutora de pressão, usada na concepção 1, por turbina de múltiplos estágios que fornece, via extração, a mesma quantidade de vapor de baixa pressão para aquecimento demandada pelo processo (18.87 tvp/h), antes atendida pela válvula redutora. A nova turbina de múltiplos estágios e de extração acrescentada nessa concepção 2 gera um excedente de 1.486 kW para venda. Nessa concepção é mantida a turbina de geração elétrica para consumo próprio, de 6.373 kW. A taxa bruta de geração de energia elétrica nessa concepção é de 74 kWh por tonelada de bagaço.

Na concepção 3, que continua com sobra de 19,7 % do bagaço produzido, há substituição das turbinas de simples estágios de acionamento mecânico do processo por turbinas mais eficientes de múltiplos estágios. Nessa concepção, a turbina de geração elétrica de múltiplos estágios de 1.486 kW da concepção 2 é substituída por turbina de geração elétrica de 5.094 kW do tipo extração-condensação. O vapor economizado com a troca das turbinas de acionamento mecânico de simples estágios por múltiplos estágios é condensado nessa nova turbina, melhorando a eficiência energética do sistema. Essa concepção gera um excedente de 5.094 kW para venda, com a nova turbina de geração elétrica suprindo via extração a demanda total de vapor para aquecimento do processo. A taxa bruta de geração de energia elétrica nessa concepção é de 108 kWh por tonelada de bagaço.

Na concepção 4 é feita a re-potenciação da caldeira, mantendo-se a pressão do vapor gerado em 21 kgf/cm². Com essa re-potenciação há aproveitamento da sobra de bagaço das concepções anteriores para geração de energia elétrica através da instalação de uma nova turbina de geração elétrica de maior potência, de 15.412 kW, em substituição à anterior de 5.094 kW, mantendo-se inalteradas as demais condições da usina. Essa concepção, com aproveitamento pleno do bagaço produzido, gera um excedente de 13.887 kW para venda. O aumento da capacidade de geração

nessa nova concepção, com uso de 26 toneladas por hora adicionais de bagaço, eleva a taxa bruta de geração de 108 kWh para 165 kWh por tonelada de bagaço consumido.

Na concepção 5 são mantidas as condições anteriores de processo, com substituição da caldeira de 21 kgf/cm² por caldeira nova de 42 kgf/cm² e instalação de turbina para geração de energia elétrica para essa nova pressão de vapor, em substituição à anterior, com condensação parcial e extrações de 21 kgf/cm² e 1,5 kgf/cm², em substituição à turbina anterior. Nessa concepção é desativada a turbina de múltiplos estágios de extração total usada nas concepções anteriores para geração de 6.373 kW de energia elétrica para consumo próprio. O suprimento de vapor de 21 kgf/cm² para as turbinas de múltiplos estágios de acionamento mecânico do processo é feito pela extração da nova turbina instalada, assim como do vapor de baixa pressão para aquecimento do processo, como nos casos anteriores. Essa concepção gera um excedente de 28.493 kW para venda, pelo uso mais eficiente do vapor em turbina de maior porte e eficiência, elevando a taxa bruta de geração de 165 kWh para 283 kWh por tonelada de bagaço.

A concepção 6 é similar à concepção 5, mas com caldeira de 61 kgf/cm² e instalação de turbina, em substituição a anterior, para geração de energia elétrica para a nova pressão de vapor. Essa turbina conta com as duas extrações para vapor, como no caso 5, para suprimento das turbinas de acionamento mecânico e de vapor de baixa pressão para aquecimento do processo. A geração excedente para venda com essa concepção é de 33.012 kW, elevando a taxa bruta de geração de 283 kWh para 320 kWh por tonelada de bagaço. A usina A pesquisada nessa dissertação tem estratégia de geração e venda de energia elétrica com concepção de cogeração similar a essa, mas com caldeira de 65 kgf/cm² e manutenção das caldeiras de 42 kgf/cm², com remoção das caldeiras de 21 kgf/cm².

A concepção 7 é idêntica à concepção 6. Conta com caldeira para vapor de 81 kgf/cm² e instalação de turbina, em substituição a anterior, para geração de energia elétrica com a nova pressão de vapor. A turbina também tem as duas extrações para vapor como no caso 6, para suprimento das turbinas de acionamento mecânico e de vapor de baixa pressão para aquecimento do processo. Essa concepção gera um excedente de 37.692 kW para venda, elevando a taxa bruta de geração de 320 kWh para 358 kWh por tonelada de bagaço. A usina B pesquisada nessa dissertação, que também tem estratégia de venda de energia elétrica, está implantando projeto de

concepção similar, mas com caldeira com pressão de vapor de 90 kgf/cm², mantendo as caldeiras de 42 kgf/cm² e remoção das caldeiras de 21 kgf/cm² como já adotado na usina A²⁴.

A concepção 8 é exatamente igual à concepção 7, mas com investimento para aumentar a eficiência energética dos processos para redução do consumo de vapor de baixa pressão de aquecimento, visando à maior sobra de vapor para geração de energia elétrica para venda; e com instalação de nova turbina de geração de energia elétrica compatível com essa maior geração de vapor, em substituição à anterior. Essa concepção gera um excedente de 44.939 kW, elevando a taxa bruta de geração de 358 kWh para 417 kWh por tonelada de bagaço. Como reflexo da redução do consumo de vapor, na concepção adotada, cada tonelada de vapor de aquecimento economizada possibilita a geração de 106 kWh adicionais (aumento de 7.792 kW na geração elétrica com a redução de 70 toneladas por hora de vapor de processo).

A concepção 9 é similar à concepção 8, com adoção de caldeira de maior capacidade de geração de vapor através da queima de 50 % da palha produzida em adição ao bagaço, e com uso de nova turbina de geração de energia elétrica de maior capacidade, em substituição à anterior, e compatível com a maior produção de vapor. Essa concepção gera um excedente de 86.461 kW para venda, 92 % maior que a anterior, elevando a taxa bruta de geração de 417 kWh para 498 kWh por tonelada de bagaço. A adição de 50 % da palha produzida ao bagaço é uma energia adicional livre acrescida ao sistema, descontados apenas 7 % do consumo próprio com essa geração adicional.

Na concepção 10 há acréscimo do biogás ao bagaço e palha, com caldeira adequada a essa condição, com instalação de turbina de geração elétrica de maior capacidade em substituição à anterior, mantendo-se as demais condições anteriores de processo. Essa concepção gera um excedente de 91.536 kW para venda, elevando a taxa bruta de geração de 498 kWh para 504 kWh por tonelada de bagaço. Por informações de gestores do setor sucro-alcooleiro sabe-se que a geração de biogás não é atraente economicamente no momento, sendo questionável seu uso como insumo energético atualmente.

A concepção 11 traz como inovação a substituição das turbinas de acionamento mecânico do processo (preparo e moagem) por motores elétricos, com economia de energia direcionada

²⁴ Essa usina, que tem estratégia de venda de energia e está investindo nessa atividade, projeta geração total de 360.000 MWh com moagem de 4,2 x 10⁶ toneladas de cana após conclusão dos investimentos. Assumindo teor de fibra na cana de 12,5 % (25 % de bagaço com 50 % de umidade) a relação entre geração e bagaço seria de 360 x 10⁶ kWh / (4,2 x 10⁶ x 0,25) = 343 kWh / t bagaço, taxa bruta compatível com a concepção 7, de 358 kWh / t bagaço.

para maior geração de energia elétrica para consumo próprio e venda. As demais condições são mantidas como na concepção 10. Essa concepção gera um excedente de 93.036 kW para venda, elevando a taxa bruta de geração de 504 kWh para 553 kWh por tonelada de bagaço. A energia adicional gerada é aparentemente pequena para o investimento necessário para substituição das turbinas de múltiplos estágios por motores elétricos. Olivério (2003) considera que a potência útil de acionamento das moendas é de 8.039 kW. Considerando a moagem de 490 toneladas de cana por hora, a energia útil específica consumida é de 16,41 kWh/tc. Esse consumo específico de energia, respectivamente para turbinas de simples e múltiplos estágios nos acionamentos das moendas²⁵, equivale a 10,9 % e 7,7 % de consumo do bagaço produzido²⁶.

Um aspecto que merece destaque é que os dados apresentados por Olivério (2003) são relativos a concepções compostas inteiramente de caldeiras e turbogeradores novos, só aplicáveis integralmente para novas usinas em construção ou grandes ampliações. Para a grande maioria das usinas existentes, com seus sistemas de cogeração implantados, seriam necessários estudos de viabilidade econômica para tomada de decisão de grandes modificações de projeto²⁷. As análises econômicas certamente recomendariam decisões conservadoras e gradativas, com investimentos seletivos em função da atratividade detectada. Certamente o preço da energia elétrica é o principal fator influente nessas decisões.

A análise da Tabela 6 e da Figura 12 mostra que as concepções evolutivas de cogeração com uso de caldeiras de alta pressão são convenientes do ponto de vista energético. A adoção de caldeiras de alta pressão e de turbogeradores de energia elétrica de alta eficiência, dotados de extração e condensação, deve ser acompanhada da adoção de turbinas de múltiplos estágios para acionamentos mecânicos e de melhorias na eficiência de consumo de vapor de processo para resultar em ganhos energéticos significativos com uso bagaço e da palha da cana-de-açúcar.

A três curvas da Figura 12 mostram a geração de energia elétrica total, de venda e de consumo próprio, por tonelada de cana processada. A diferença entre elas representa o consumo

²⁵ Eficiências de 48 % e 68%, respectivamente, para turbinas de simples e múltiplos estágios, de 77 % na transmissão mecânica das moendas, de 90 % no sistema de transferência de calor e de 80 % nas caldeiras.

²⁶ $16,41 \text{ kWh} / \text{tc} \times 860 \text{ kcal} / \text{kWh} \times 490 \text{ tc/h} / 1800000 \text{ kcal/tbg} / 0,48 \text{ (ou } 0,68) / 0,77 / 0,9 / 0,8 / 132,353 \text{ tbg/h} \times 100 = 10,9 \text{ (ou } 7,7) \%$.

²⁷ Uma usina pertencente a um dos grupos de usinas pesquisadas, não incluída nessa pesquisa, que tem estratégia de venda de energia e está investindo nessa atividade, projeta geração total de 239.000 MWh com moagem de $1,8 \times 10^6$ toneladas de cana após conclusão dos investimentos. Assumindo teor de fibra na cana de 12,5 % (25 % de bagaço com 50 % de umidade) a relação entre geração e bagaço seria de $239 \times 10^6 \text{ kWh} / (1,8 \times 10^6 \times 0,25) = 531 \text{ kWh} / \text{t bagaço}$, taxa bruta equivalente à concepção 9. De fato, essa usina está com estratégia de consumo da palha em adição ao bagaço, como na concepção 9, com instalação de caldeiras e turbogeradores de alta pressão.

próprio de energia elétrica da usina, incluindo o consumo relativo ao do próprio sistema de geração de vapor e de energia elétrica, considerado como sendo 7 % da energia elétrica gerada. Essa diferença entre a geração e a venda é mais acentuada nas últimas concepções, sendo mais intensa na décima primeira, onde as turbinas foram substituídas por motores elétricos nos acionamentos mecânicos dos processos de extração de caldo.

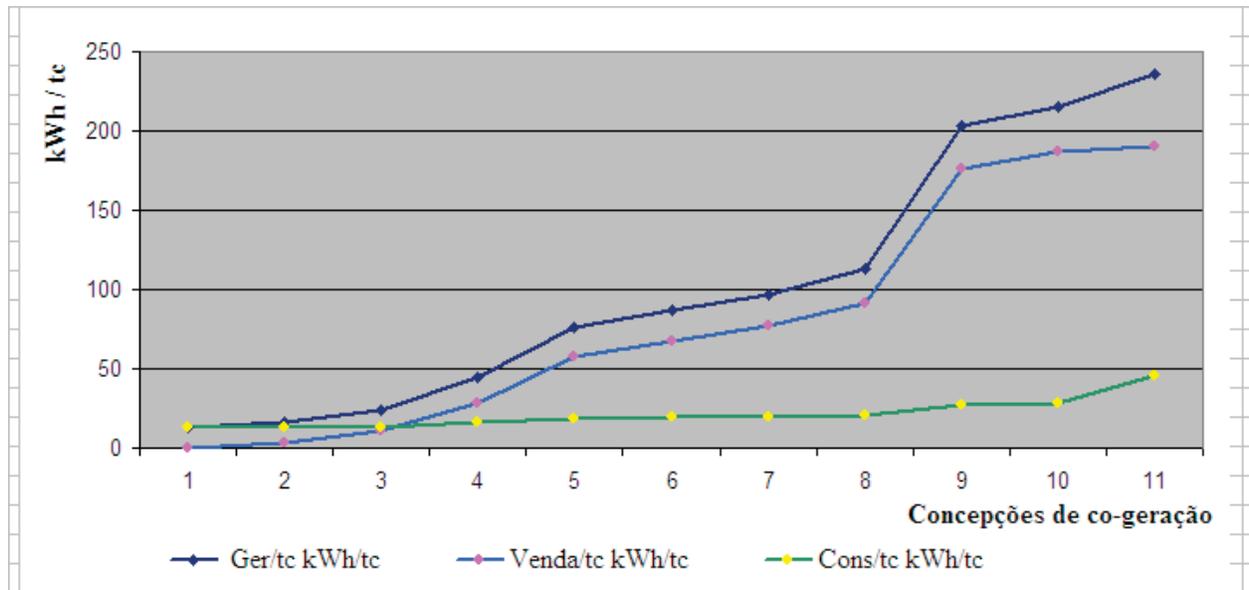


Figura 12 – Geração, venda e consumo de energia elétrica por tonelada de cana processada (kWh/tc). Elaborada pelo autor.

4 Metodologia de desenvolvimento da dissertação

Conforme exposto no item 1.6, a pesquisa para elaboração da análise objeto desta dissertação é exploratória, hipotética e dedutiva, havendo possibilidades de testes de comprovação ou refutação dos aspectos pesquisados, no mesmo ambiente do experimento ou outros similares. Neste item 4 serão apresentados detalhes de desenvolvimento da metodologia.

4.1 Escolha das usinas para pesquisa e análise

A escolha da amostra de usinas privilegiou as instaladas no estado de São Paulo, com características de interesse para a pesquisa, e com as quais o autor teria relativa facilidade de acesso aos dados e informações.

A pesquisa de campo nas usinas selecionadas, para avaliação das práticas de gestão e obtenção dos resultados energéticos, foi conduzida após entendimentos prévios com diretores, direto em duas usinas e indireto em outras duas, com estabelecimento da condição de não divulgação de dados e informações fornecidos considerados restritos ou sigilosos.

4.2 Escolha do método e dos indicadores de avaliação de gestão

Como método de avaliação de gestão, o modelo de avaliação da FNQ foi escolhido para análise de correlação comparativa entre práticas de gestão e resultados energéticos por ser um sistema consagrado pelo uso há 14 anos. Entretanto, seria muito difícil, senão impossível, conseguir que as usinas participantes da pesquisa fizessem alocação e capacitação de seus principais gerentes para elaboração de Relatório de Gestão pelos critérios da FNQ, para avaliação formal conforme sua metodologia. O autor optou, então, por um processo simplificado de avaliação, alinhado com os critérios da FNQ, centrada apenas nele, usando a publicação *Rumo a Excelência 500 pontos* (FNQa, 2006). O uso da publicação para pontuação máxima de 250 pontos foi desconsiderado pelo fato de algumas das usinas pesquisadas terem sistema de gestão razoavelmente desenvolvido, inclusive com certificação pela ISO 9001, e certamente teriam pontuação maior que 250 pontos na avaliação. O uso da publicação para avaliação máxima de 1000 pontos também foi desconsiderada pela suposição do autor de que as usinas a serem avaliadas não teriam sistemas de gestão suficientemente desenvolvidos para ultrapassar 500

pontos por esses critérios de avaliação. Após as avaliações de gestão das usinas pesquisadas o autor concluiu que poderia ter sido usada a publicação para avaliação máxima de 1000 pontos (FNQb, 2006), pois em muitos aspectos da avaliação as usinas superaram os requisitos para pontuação máxima de 20% de cada aspecto.

Quanto aos indicadores de avaliação de gestão, foram escolhidos os critérios 1, 2, 5, 6 e 7 pelo maior interesse que o autor considerou haver neles para análise comparativa com os resultados de conversão de açúcares e consumo energético dos processos. Pois embora fosse conveniente quantificar todos os critérios de gestão usados pela FNQ para avaliação completa do sistema de gestão, os dados e informações sobre o critério 8 (*Resultados*) não poderiam ser disponibilizados pelas usinas para avaliação. Como também não foi possível obter as informações sobre os critérios 3 e 4 de duas das quatro usinas, ficando assim excluídos da avaliação. Os requisitos dos aspectos de cada item de todos os critérios de avaliação da FNQ podem ser vistos no Apêndice III.

Considerando que os critérios avaliados contemplam 16 itens, dos 20 itens de avaliação de enfoque e aplicação (FNQa, 2006), foram avaliados 80 % do total de itens para essa análise comparativa, que pode ser considerado um percentual significativo de avaliação. Do total de 500 pontos na avaliação completa, um total de 230 pontos foi considerado na avaliação, representando 46 % da pontuação máxima total e 77 % da pontuação máxima dos sete critérios de enfoque e aplicação, de maior interesse para análise desta dissertação.

Para pontuar as avaliações de cada um dos critérios de avaliação foi elaborado um conjunto de planilhas, sendo uma planilha para cada um dos vinte itens dos critérios de 1 a 7, contendo os cinco aspectos de cada item, e uma planilha para cada um dos 7 itens de resultados. O Apêndice II mostra algumas planilhas dos sete critérios de avaliação e uma de avaliação de resultados, sem preenchimento. O não preenchimento das pontuações detalhadas dos cinco aspectos de cada item se deveu ao compromisso de não divulgação plena dessas avaliações com as usinas pesquisadas. Foi dado conhecimento confidencial desses resultados detalhados, em papel, apenas para os membros da banca examinadora.

As planilhas para avaliação de enfoque e aplicação das práticas e padrões de trabalho têm colunas para consideração e ponderação dos requisitos de adequação, controle, pró-atividade e refinamento, para definição dos níveis A, B, C ou D de avaliação; e colunas específicas para consideração e ponderação dos requisitos de disseminação e continuidade das práticas e padrões

de trabalho, para definição dos níveis 1, 2, 3 ou 4 de avaliação. O cruzamento dessas avaliações indica o percentual de avaliação para o aspecto considerado (FNQ a, 2006, p. 18), com percentual máximo de cada aspecto de 20 %. A soma dos percentuais de avaliação de cada um dos cinco aspectos resulta no percentual total do item, cuja pontuação é calculada multiplicando-se esse percentual total pelo peso do item (FNQ a, 2006, p. 20).

Para a avaliação de resultados, embora não efetivados nessa dissertação, foram inicialmente elaboradas sete planilhas para cada um dos itens desse critério. Essas planilhas têm colunas para consideração e ponderação dos requisitos de relevância e desempenho, para definição dos níveis A, B, C, D ou E de avaliação; e coluna específica para consideração e ponderação da tendência, para definição dos níveis 1, 2, 3 ou 4 de avaliação. O cruzamento dessas avaliações indica o percentual de avaliação do item considerado (FNQ a, 2003, p. 19). A pontuação de cada item de resultado é calculada multiplicando-se o seu percentual de avaliação pelo peso do item (FNQ a, 2003, p. 20).

4.3 Avaliação de gestão: preparação e realização

As *Práticas de Gestão* foram avaliadas a partir de entrevistas com gestores das usinas nominalmente definidos pelos diretores para fornecimento das informações essenciais relacionadas com práticas de gestão, padrões de trabalho e resultados organizacionais necessários para avaliação simplificada pelos critérios da Fundação Nacional da Qualidade, usando a publicação *Rumo a Excelência – 500 pontos*, de 2006.

A preparação para realização das avaliações de gestão foi iniciada com aquisição das publicações *Rumo a Excelência – 500 pontos* e *Critérios de Excelência (1.000 pontos)*, de 2006. Essas publicações foram estudadas para uso nas avaliações de gestão e preparação de reunião realizada com os gerentes representantes das usinas pesquisadas para apresentação da FNQ e da metodologia a ser adotada para avaliação de gestão. Nessa reunião foram acertadas as condições de realização da pesquisa e informado o *site* da FNQ para melhor conhecimento dessa instituição pelos gerentes e de preparação para as entrevistas de avaliação de gestão. O seu autor se colocou a disposição de cada usina para apresentar as avaliações específicas dela, após a conclusão da dissertação; nessa apresentação seriam evidenciados os pontos fortes e pontos passíveis de melhorias, obviamente segundo os referenciais da FNQ.

Após a reunião acima citada, os gerentes representantes das usinas assumiram o compromisso de agendar as reuniões nas respectivas usinas para realização das entrevistas com os gerentes responsáveis pelos itens de gestão a serem avaliados. A agenda de entrevistas foi revisada com alguns adiamentos, mas foram realizadas todas as entrevistas necessárias com excelente aproveitamento pelo fato de cada gerente ter alocado tempo de agenda adequado e ter estudado antecipadamente o material de referência da FNQ.

Com base nos registros de dados e informações obtidos nas entrevistas foi feita a avaliação de cada aspecto dos itens que compõem os critérios usados como referenciais de avaliação. As pontuações estabelecidas foram lançadas em planilhas para elaboração de tabelas e gráficos usados para a análise objeto da dissertação. Cópias dos registros de dados e informações das entrevistas e as pontuações de avaliação foram fornecidas aos membros da banca examinadora como documento confidencial em papel.

4.4 Escolha dos indicadores de resultados energéticos

A escolha dos indicadores ficou restrita ao aproveitamento da matéria prima processada e ao uso dos principais insumos energéticos, pois são os principais indicadores buscados nas indústrias de processamento. Para indicador de aproveitamento da matéria prima foi escolhida, inicialmente, a eficiência de conversão de sacarose em produtos finais (açúcar, álcool e levedura), logo a seguir alterado para sacarose e outros açúcares, uma vez que a cana-de-açúcar contém açúcares simples, embora em percentual bem menor que a sacarose, conversíveis em álcool e levedura. Para indicador de consumo energético foi escolhido o percentual de bagaço consumido como energético nos processos internos das usinas em relação ao bagaço produzido. O bagaço é consumido pelas caldeiras para produção de vapor. O vapor é usado diretamente nos processos industriais e nas turbinas de acionamento mecânico (processo de preparação e moagem da cana) e de geração de energia elétrica para consumo próprio e venda. Os resultados buscados são de maximização da conversão dos açúcares em produtos finais (mínimas perdas nos processos) e de minimização de consumo de bagaço nos processos internos (máxima sobra de bagaço para geração de energia elétrica para venda).

4.5 Obtenção dos indicadores de conversão e de resultados energéticos

Para determinação dos indicadores de eficiência de conversão de açúcares, houve inicialmente a simples intenção de obter dados de produção de açúcar, álcool anidro, álcool hidratado e levedura e dados básicos sobre a cana-de-açúcar, como total processado na safra e teor médio de sacarose. Para determinação dos indicadores de consumo energético seria obtido o teor de fibra (bagaço) na cana, o bagaço usado na geração de energia elétrica para venda e a sobra de bagaço estocado na usina. Com esses dados, usando conceitos e fórmulas de Nogueira (1987, p.18 a 42) seria possível calcular os indicadores de interesse para a análise de correlação comparativa pretendida.

Os primeiros cálculos elaborados para determinação da eficiência de conversão de açúcares em produtos finais, usando os dados obtidos, mostraram inconsistências de alguns resultados. Foi constatado que os indicadores de conversão de açúcares das usinas A e B estavam muito fora dos padrões esperados, muito abaixo para a usina A e muito acima para a usina B; entretanto, quando calculado considerando as duas usinas como um sistema único, o valor do indicador se enquadrava nos padrões aceitáveis.

Os contatos para esclarecimentos das inconsistências, principalmente de confirmação de dados fornecidos, mostraram que os dados e informações usados seriam insuficientes para a determinação dos indicadores definidos, pois outros dados influentes não estariam disponíveis e sua falta afetaria demasiadamente os resultados dos indicadores calculados. Podem ser citados como exemplos a transferência entre usinas do mesmo grupo de mel para cristalização e de mel para fermentação, a compra e venda de bagaço *in natura* pelas usinas, uso de palha e outros combustíveis renováveis adicionados ao bagaço para queima nas caldeiras, entre outros fatores.

Em decorrência do acima exposto foi decidido solicitar das usinas seus indicadores de conversão de açúcares em produtos finais²⁸ e de consumo energético dos processos industriais, basicamente bagaço, energia elétrica e vapor de aquecimento, para uso na análise de correlação comparativa objeto dessa dissertação. Uma das usinas pesquisadas forneceu detalhes da sua concepção de cogeração e das melhorias que serão implantadas no curto e médio prazo para aumentar a geração de energia elétrica.

²⁸ A conversão de açúcares em produtos finais é um indicador dos mais importantes gerenciados pelas usinas, com determinação diária e consolidação de resultado global até o dia considerado. A cada fechamento de dia, semana e mês são feitas análises do resultado obtido para comparação com os resultados previstos no planejamento de safra para tomada de decisão de correções e/ou revisões de planejamento.

4.6 Considerações sobre indicadores de conversão de açúcares e energéticos

Os indicadores de conversão de açúcares fornecidos pelas quatro usinas pesquisadas se distanciavam muito entre dois blocos delas (A-B e C-D). As informações obtidas nas visitas às usinas permitiam supor que as usinas A e B teriam resultados de conversão melhores que as usinas C e D, mas não tanto como informado. Contatos para esclarecimentos dessa divergência indicaram que as usinas usavam critérios diferentes para determinação das suas eficiências energéticas. Para melhor compreender os diferentes critérios foi necessária ampliação da revisão bibliográfica relacionada com o assunto para determinação das eficiências de conversão de açúcares das usinas, com uso do mesmo critério para comparação confiável de resultados e uso na análise de correlação comparativa.

As usinas A e B adotam, como indicador de conversão, a *eficiência industrial Copersucar* como apresentado em Nogueira (1987, p. 33) e em Fernandes (2003, p. 151), usando dados de Açúcares Redutores Totais (ART) contidos nos produtos finais e na cana processada. Para obtenção do indicador de conversão das usinas C e D foi usado este mesmo critério para cálculo das suas eficiências industriais, usando os dados fornecidos por elas. Entretanto, para assegurar comparação sem distorção por diferentes produções relativas de álcool e açúcar das quatro usinas, foi adotado como indicador de conversão de açúcares em produtos finais a *eficiência industrial relativa Copersucar* (Fernandes, 2003, p. 156). Essa *eficiência industrial relativa* é a *eficiência industrial Copersucar* expressa em percentual relativamente à *eficiência industrial máxima teórica Copersucar*. A eficiência máxima teórica é aquela que poderia ser atingida por uma unidade industrial considerando sua produção relativa de álcool e açúcar (Fernandes, 2003, p. 135).

O consumo energético dos processos industriais, basicamente bagaço, energia elétrica e vapor de aquecimento foram informados pelas usinas e inseridos na Tabela 7 para análise conjunta com os demais indicadores.

5 Resultados e comentários

A finalidade deste item é apresentar os resultados das avaliações de gestão (pontuações dos critérios 1, 2, 5, 6 e 7) e dos resultados energéticos (conversão de açúcares e consumo energético dos processos), usados para a análise de correlação comparativa, apresentada no último subitem. Esses resultados estão mostrados nas linhas com fundo colorido da Tabela 7.

5.1 Resultados das avaliações de gestão

Neste item são apresentados os resultados gerais das avaliações, os resultados e comentários dos itens avaliados e as considerações finais sobre as avaliações.

5.1.1 Resultados gerais das avaliações

A Tabela 7 apresenta os indicadores para a análise de correlação comparativa, agrupados em três blocos: indicadores de gestão, indicadores energéticos básicos e outros indicadores energéticos.

Tabela 7 - Indicadores de gestão e energéticos das usinas. Elaborada pelo autor.

Indicadores de gestão (Critérios FNQ)	Usina A		Usina B		Usina C		Usina D	
	pontos	%	pontos	%	pontos	%	pontos	%
Critério 1: Liderança	51,5	93,6	51,5	93,6	41,0	74,5	41,0	74,5
Critério 2: Estratégias e Planos	49,0	83,1	49,0	98,0	39,8	79,5	39,8	79,5
Critério 3: Clientes	não avaliado		não avaliado		não avaliado		não avaliado	
Critério 4: Sociedade	não avaliado		não avaliado		não avaliado		não avaliado	
Critério 5: Informações e Conhecimento	26,5	11,5	26,5	88,3	23,0	76,7	23,0	76,7
Critério 6: Pessoas	39,0	86,7	39,0	86,7	36,0	80,0	36,0	80,0
Critério 7: Processos	48,0	96,0	48,0	96,0	43,0	86,0	43,0	86,0
Critério 8: Resultados	não avaliado		não avaliado		não avaliado		não avaliado	
Total (critérios (1, 2, 5, 6 e 7))	214,0	93,0	214,0	93,0	182,8	79,5	182,8	79,5
Indicadores energéticos básicos								
	%		%		%		%	
Eficiência industrial relativa Copersucar	97,2		98,1		93,0		93,8	
Consumo % bagaço processo / bagaço produzido	65,0		75,0		98,8		92,2	
Efic. Cop. informada p/ A e B e calculada p/ C e D	89,0		89,5		84,8		84,9	
Eficiência máxima teórica Copersucar	91,6		91,2		91,2		90,5	
Outros indicadores energéticos								
Vapor aquecimento processo (1,5 kg/cm ²)	400		530		591		636	
Consumo energia elétrica	22,1		14,9		13,5		12,3	
Siglas: FNQ - Fundação Nacional da Qualidade; Cop. - Copersucar								

O primeiro bloco se refere aos indicadores de gestão, composto pelos oito critérios de excelência do modelo usado da FNQ. Os sete primeiros critérios são avaliados quanto ao enfoque e aplicação; o oitavo critério, com sete itens, é de avaliação de resultados. As avaliações conduzidas nas usinas pesquisadas contemplaram dos critérios 1, 2, 5, 6 e 7, com pontuações dos seus itens resultantes da avaliação e pontuação de cada um dos cinco aspectos de cada item.

O segundo bloco se refere aos indicadores energéticos básicos de eficiência de conversão de açúcares em produtos finais e de consumo relativo de bagaço nos processos industriais, medido em percentual do total de bagaço gerado com a moagem da cana processada.

O terceiro bloco de indicadores mostra os consumos de vapor e de energia elétrica. Estes indicadores estão relacionados com a razão entre bagaço consumido para o processo e o bagaço produzido. Eles refletem as decisões estratégicas sobre geração e uso de energia das usinas, comentadas pelos gestores nas entrevistas de avaliação de gestão.

As pontuações obtidas para os critérios avaliados, apresentadas no primeiro bloco da Tabela 7, foram resultantes das avaliações dos itens de cada critério, cujos valores estão apresentados na Figura 13.

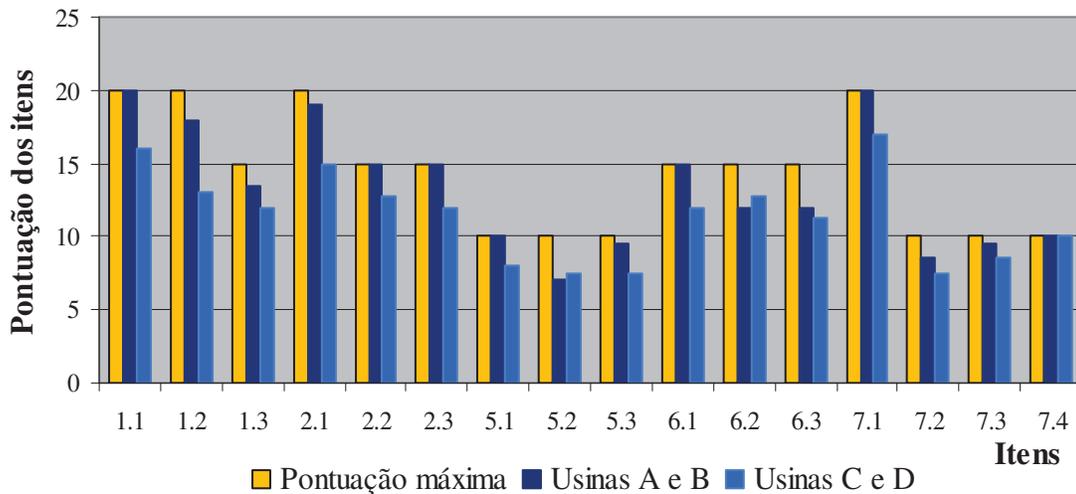


Figura 13 - Indicadores de avaliação de gestão dos critérios 1, 2, 5, 6 e 7. Elaborada pelo autor.

A Figura 13 permite análise global comparativa das pontuações de cada grupo de usinas, ambos com boas pontuações nos cinco critérios avaliados. As Usinas C e D tiveram avaliação melhor que as Usinas A e B nos itens 5.2 (Gestão das informações comparativas) e 6.2 (Capacitação e desenvolvimento). Nos demais itens as Usinas A e B tiveram melhor avaliação, com destaque para alguns deles. As pontuações de avaliação de cada aspecto dos critérios

avaliados estão apresentadas graficamente nas figuras seguintes para maior facilidade analítica. Embora as avaliações numéricas dos aspectos não sejam mostradas diretamente no texto, os gráficos apresentados trazem informações suficientes para análises comparativas de resultados das usinas avaliadas.

Os gráficos da Figura 14 mostram o percentual de avaliação de cada aspecto para todos os itens avaliados relativamente à avaliação máxima desses itens. Em geral, pode ser observado que as usinas A e B tem avaliações melhores que as C e D para todos os cinco aspectos. E que todas têm avaliações melhores para os primeiros aspectos e mais baixas para os últimos. Isso significa que todas têm espaço para evoluir nas suas práticas de gestão relativas a aprendizagens e melhorias globais de desempenho. A identificação específica dos itens que merecem ações de melhoria pode ser feita com uma análise mais detalhada das avaliações de cada item em particular.

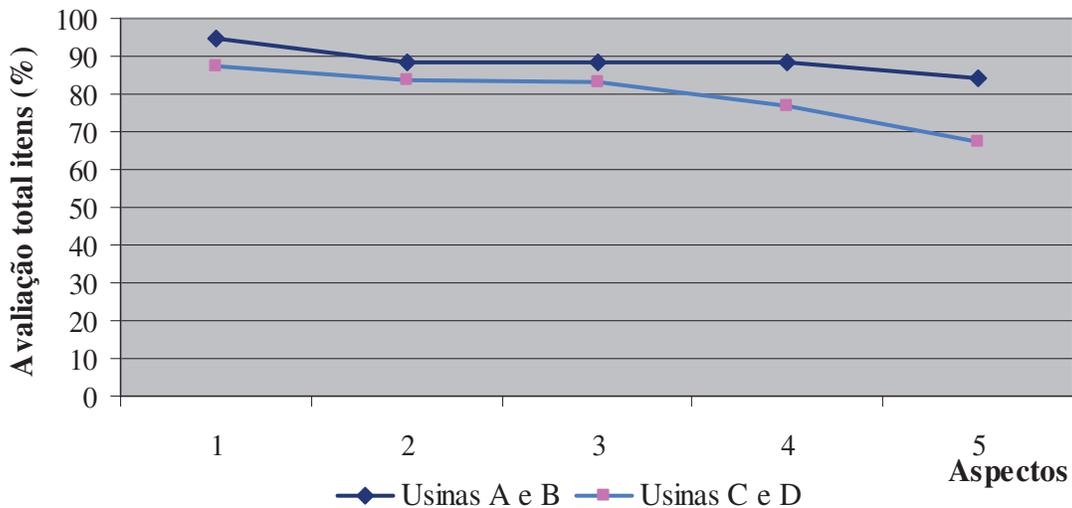


Figura 14 - Avaliação % total dos aspectos para todos os itens avaliados. Elaborada pelo autor.

O requisito principal de gestão do aspecto 5 de cada item está relacionado com o uso de mecanismo de avaliação para aprendizagens e melhorias de desempenho global; como, por exemplo, a análise crítica das práticas de gestão e padrões de trabalho estabelecidos para tomada de decisões e implementação de ações de melhorias de desempenho global da organização, com base nos sucessos e insucessos constatados, reais ou potenciais. É importante que as decisões resultantes da análise crítica do item em consideração sejam não apenas reativas, de correções de práticas de gestão e padrões de trabalho inadequados; mas principalmente pró-ativas, de

prevenção de maus resultados futuros, pela antecipação de melhorias de práticas de gestão e padrões de trabalho.

As análises críticas devem ser efetivadas com adoção do ciclo PDCA, geralmente em três níveis: nível de operação pela supervisão, nível de supervisão pela gerência e, finalmente, nível de gerência pela administração superior. A diferença entre esses níveis de análise crítica está na abrangência e na periodicidade deles, crescentes da primeira para a terceira. Um detalhe importante a ser observado na aplicação de mecanismos de aprendizagens e melhorias, como o de análise crítica sistematizada, é que o foco da análise deve estar nos *processos* de obtenção dos resultados (práticas de gestão e padrões de trabalho) e não apenas nos *resultados* desses processos.

5.1.2 Resultados e comentários dos itens avaliados

As Figuras 15, 16 e 17 mostram percentualmente a soma das avaliações de cada um dos cinco aspectos para todos os itens dos critérios 1, 2, 5, 6 e 7. As figuras foram assim construídas para visualização do perfil de cada grupo de usinas nos aspectos 1, 2, 3, 4 e 5. Os aspectos 1, 2, 3 e 4 de cada item representam, de modo geral²⁹, as quatro etapas do ciclo PDCA de gestão desse item, respectivamente; o aspecto 5 de cada item representa as etapas C e A globais do item, como mecanismo de aprendizagem e melhoria de desempenho global da organização naquele item.

Pela Figura 15 pode ser notado que as usinas obtiveram avaliações em geral uniformes para o critério 1 (Liderança), com as Usinas C e D apresentando pontuações abaixo das usinas A e B, recomendando busca de melhorias para todos os aspectos dos itens desse critério. As práticas de gestão relativas à avaliação para aprendizagem e melhoria global de desempenho da organização para os itens desse critério devem ser melhoradas para as duas usinas. Para o critério 2 (Estratégias e Planos), o gráfico das usinas C e D mostram necessidade de melhorias para os aspectos 3, 4 e 5, em especial para os dois últimos.

²⁹ Essa conclusão foi decorrente de análise criteriosa dos requisitos estabelecidos em cada aspecto de uma amostra de itens submetidos à análise pelo autor, sendo constatado que é intensa a relação dos aspectos 1 com P, do aspectos 2 com D, dos aspectos 3 com C e dos aspectos 4 com D. Assim como dos aspectos 5 com C e A globais de cada item.

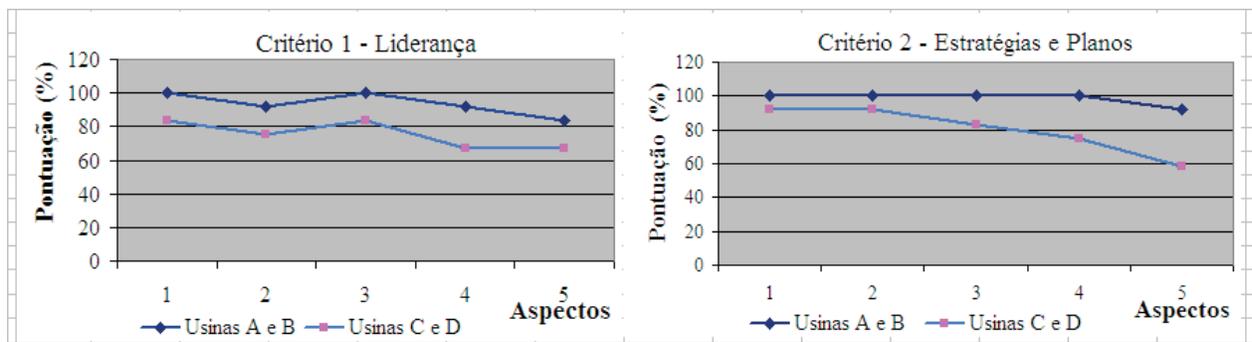


Figura 15 - Avaliações dos aspectos dos itens dos critérios 1 e 2. Elaborada pelo autor.

Pela análise da Figura 16 pode ser notado que as usinas obtiveram boas avaliações para o critério 5 (Informações e conhecimento), exceto no aspecto 5 para as Usinas C e D, evidenciando que o seu processo de avaliação para aprendizagem e melhorias globais de desempenho da organização para os itens desse critério deve ser melhorado. Também nos aspectos 2 e 4 todas as usinas podem introduzir algumas melhorias nas suas práticas de gestão. Pode ser notado também que para o critério 6 (Pessoas) todas as usinas têm espaço para melhorias nos aspectos 3 e 5.

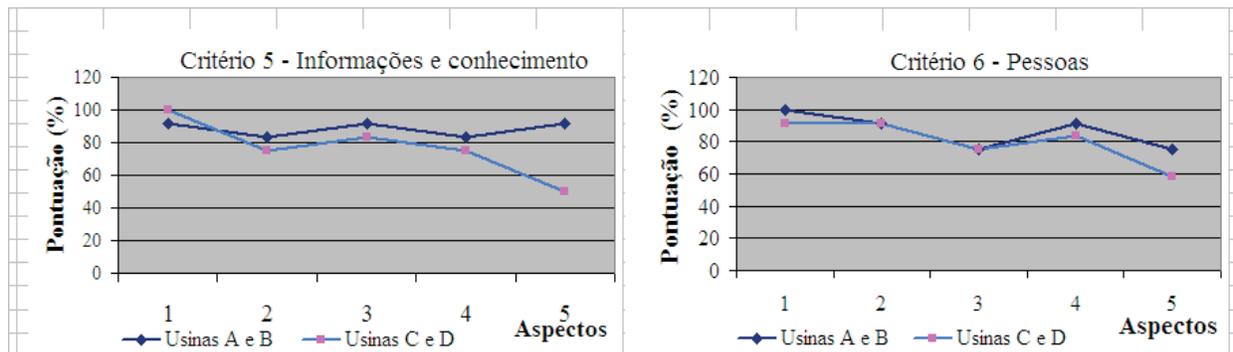


Figura 16 - Avaliações dos aspectos dos itens dos critérios 5 e 6. Elaborada pelo autor.

Pela Figura 17 pode ser notado que todas as usinas obtiveram boas avaliações nos aspectos dos itens do critério 7 (processos), com exceção dos aspectos 4 e 5 para as Usinas C e D, que têm espaço para aprimorar as práticas de gestão para promover a aprendizagem e melhoria global de desempenho da organização para itens desse critério.

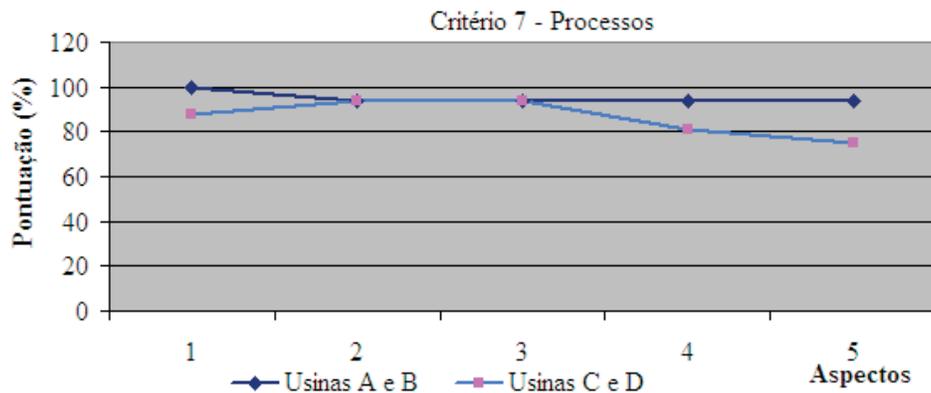


Figura 17 - Avaliações dos aspectos dos itens do critério 7. Elaborada pelo autor.

5.1.3 Considerações sobre as avaliações

Como considerado no item 4.2 da metodologia de desenvolvimento dessa dissertação, as avaliações de gestão foram conduzidas com base no referencial Rumo a Excelência - 500 pontos (FNQa, 2006). Para essa decisão o autor supôs que este seria um referencial adequado para as avaliações, pois os sistemas de gestão das usinas pesquisadas não teriam pontuação maior que 500 pontos se usado o referencial Critérios de Excelência - 1000 pontos (FNQb, 2006). Entretanto, nas avaliações de enfoque e aplicação de parte considerável de itens, principalmente para as usinas A e B, os requisitos de enfoque foram pontuados no grau D com folga. Houve a percepção de que esse nível de requisito estava sendo atingido com certa folga porque, além das práticas de gestão apresentadas serem adequadas para atender todos os requisitos do aspecto, havia bem mais de uma prática pró-ativa, com controle e com refinamento. Essa constatação gerou a percepção de que, em vários itens e aspectos, a avaliação ultrapassaria 500 pontos.

Convém ressaltar, entretanto, que no modo simplificado de avaliação com base apenas em entrevistas de gerentes das áreas avaliadas não foi exigida a apresentação de comprovação das afirmações sobre as quais foram realizadas as avaliações. Foi considerado haver as comprovações das práticas de gestão com base em resultados, confiando nas afirmações dos gerentes entrevistados, sem confirmação por evidências objetivas. Essa simplificação foi necessária para viabilizar a análise de correlação comparativa, pois avaliações completas com base em relatórios de gestão das usinas seriam praticamente impossíveis, assim como exigir comprovações documentais das práticas de gestão ditas praticadas também seria muito difícil nas condições da pesquisa efetuada.

O interesse demonstrado pelos gerentes entrevistados com a metodologia de avaliação da FNQ permite concluir que ela seria bem aceita como instrumento de avaliação dos sistemas de gestão das empresas do setor sucroalcooleiro. Nas avaliações foi constatado que os gestores das usinas pesquisadas têm capacitação gerencial muito boa, o que justifica os avanços de resultados observados do setor nos últimos anos. Isso permite afirmar que, realmente, o desenvolvimento tecnológico é importante para a obtenção de melhorias nos resultados, como é importante também a capacidade das organizações de fazer bom uso das tecnologias disponíveis através da capacitação gerencial bem desenvolvida e eficazmente praticada.

5.2 Resultados energéticos

Como comentado nos itens 4.5 e 4.6, a determinação da eficiência de conversão de açúcares foi muito mais complexa que inicialmente prevista. Os cálculos para sua determinação com os primeiros dados e informações fornecidos pelas usinas resultaram em inconsistências que exigiram mudança nos critérios de determinação desses indicadores. Assim, foi solicitado que cada usina informasse os seus valores de eficiências de conversão de açúcares para a safra de 2006/2007, considerada para a análise dessa dissertação. Apesar da expectativa certa de obtenção de indicadores precisos, como de fato ocorreu, por se tratar de indicador de gestão de produção prioritário pela sua importância econômica, houve necessidade de tratamento dos dados recebidos para determinação do indicador único escolhido para a análise dessa dissertação: *eficiência industrial relativa Copersucar* (Fernandes, 2003, p. 155).

Quanto aos resultados de consumo energético dos processos (consumo de bagaço, energia elétrica e vapor de aquecimento), os valores informados pelas usinas foram inseridos diretamente na Tabela 7 para análise conjunta com os demais indicadores, sem tratamento analítico de cada um deles.

5.2.1 Eficiência de conversão de açúcares

Os tratamentos e cálculos efetuados com os indicadores de conversão de açúcares, juntamente com dados fornecidos pelas usinas, estão apresentados na Tabela 8. Nas considerações deste item 5.2.1 nos parágrafos abaixo, as referências às *linhas* são sempre relativas às linhas da Tabela 8, identificadas na coluna “Item”.

Tabela 8 – Dados e cálculos de eficiências de conversão de açúcares. Elaborada pelo autor.

Item	Descrição do item	unid	Usina A	Usina B	Usina C	Usina D
1	Cana processada	t	3.349.883	3.466.913	1.363.188	3.912.799
2a	Pol da cana processada	%	14,81	15,05	13,70	14,58
2b	Açúcares Redutores Totais (ART) da cana	kg/tc	não obtido	não obtido	155,917	161,672
3	Açúcar produzido	t	244.745	256.269	88.043	211.837
4	Álcool anidro produzido	m3	82.359	115.212	55.503	97.863
5	Álcool hidratado produzido	m3	52.120	52.288	1.962	114.552
6	Levedura produzida	t	3.366	2.375	0	0
7	Eficiência Copersucar calculada	%	86,38	92,87	84,80	84,89
8	Eficiência informada: Copersucar p/ A e B e PGD p/ C e D	%	89,00	89,49	82,51	80,98
9	Eficiência Copersucar calculada p/ conjunto A e B	%	89,70		não aplicável	
10	Média ponderada eficiência Copersucar calculada p/ A e B	%	89,71		não aplicável	
11	Média ponderada eficiência Copersucar informada p/ A e B	%	89,25		não aplicável	
12	Eficiência máxima teórica Copersucar (calculado)	%	91,56	91,24	91,22	90,51
13	Fator da equação de cálculo da eficiência máxima. teórica		0,44	0,48	0,49	0,59
14	Eficiência Copersucar: A e B (informada); C e D calculada	%	89,00	89,49	84,80	84,89
15	Eficiência industrial relativa Copersucar	%	97,20	98,08	92,97	93,79

Siglas: ART - Açúcares Redutores Totais; PGD - Princípio da Grande Destilaria;

Os indicadores de conversão de açúcares da cana para os produtos finais, calculados pelo critério conceitual da Copersucar para as usinas A e B resultaram em valores incompatíveis com o esperado (linha 7). Os contatos posteriores para esclarecimento dessa anomalia detectada indicaram que houve transferência de produtos intermediários de uma usina para outra, não informados e não considerados nos cálculos das eficiências.

Análises anteriores mostravam possibilidade de transferência de produto intermediário (mel) da usina A para a usina B, pois a eficiência calculada considerando as duas usinas como um só conjunto mostrou valores compatíveis com os esperados (linha 9). A eficiência Copersucar média ponderada das usinas A e B (ponderada pela sacarose contida na cana de cada uma delas), calculada com as eficiências Copersucar de cada usina (linha 7) está mostrada na linha 10. Nota-se que esse resultado foi praticamente igual ao calculado considerando as usinas A e B como um só conjunto (linhas 9).

As constatações acima, e a consideração de que as usinas C e D informaram suas eficiências de conversão por critério diverso do da Copersucar³⁰ (linha 8), levaram à decisão de adoção das seguintes eficiências como numerador para cálculo das *eficiências industriais relativas*:

³⁰ Critério PGD (Princípio da Grande Destilaria), adotado pela consultoria externa contratada.

- a) Usinas C e D: calculadas pelo autor com critério Copersucar usando o ART informado (linha 2b) em vez de pol (linha 2a) e transferidas para linha 14 - numerador da equação.
- b) Usinas A e B: informadas pelas usinas (linha 8), com valores calculados com critério Copersucar conforme informação delas; os resultados foram transferidos para a linha 14 - numerador da equação.

A diferença entre a *eficiência calculada* para o conjunto das usinas A e B (linha 9) e a *média das eficiências informadas* pelas respectivas usinas (linha 11) se deve, provavelmente, ao fato do fator usado para acréscimo dos açúcares redutores à sacarose ter sido de 3,00 % (Nogueira, 1987), enquanto o real médio das usinas A e B deve ser 3,52 % (para igualar valores médios calculados com informados). Isso significa que as usinas A e B tiveram teores maiores de açúcares redutores que a média considerada por Nogueira (1987) e adotada pelo autor nos cálculos com uso dos valores de pol da cana informados. Esse fator depende, principalmente, das variedades de cana cultivadas, do clima e do grau de maturação na colheita. Outro aspecto que merece citação, por afetar também a comparação de resultados de eficiência, são os seguintes índices considerados nos cálculos: 1) grau de pureza para o açúcar produzido (considerado 99,6 %); 2) teor alcoólico do álcool anidro (considerado 99,3 %); e, 3) teor alcoólico do álcool hidratado (considerado 93,2 %).

Assim, foi possível a determinação confiável da *Eficiência Industrial Relativa Copersucar*, que possibilita a comparação sem distorção entre eficiências das usinas, pois mede o grau com que cada usina aproxima-se da eficiência máxima teórica que ela poderia atingir com as produções relativas de açúcar e álcool realizadas. Os indicadores finais de conversão de açúcares (*Eficiência industrial relativa Copersucar*) - obtidos pela divisão dos indicadores da linha 14 (numerador da equação) pela eficiência máxima teórica da linha 12 (denominador da equação) - estão apresentados na linha 15 e transferidos para a Tabela 7 para uso na análise de correlação comparativa objeto da dissertação.

5.2.2 Consumo energético dos processos

A quantificação do consumo energético nos processos industriais é apresentada em bagaço equivalente, para cálculo de quanto ele representa percentualmente em relação ao total de bagaço gerado no processo de moagem da cana. O valor desse bagaço equivalente é o bagaço total produzido, subtraindo-se dele a quantidade consumida para geração de energia elétrica vendida e

o bagaço resultante do balanço entre compras, vendas, outros usos não energéticos e sobras de estoque. Adicionalmente a esse indicador foram considerados os consumos de energia elétrica e de vapor de aquecimento dos processos, informados diretamente pelas usinas.

5.2.3 Considerações sobre estratégias energéticas

As estratégias adotadas pelas usinas para gestão energética têm influência direta nos seus resultados nessa área. O item 2.6.1, que trata da evolução de uso do bagaço na geração de energia, mostra como o assunto energia era tratado em usinas algumas décadas atrás e como evoluiu ao longo do tempo. Décadas atrás, com baixo preço de petróleo e com disponibilidade de energia de origem hídrica abundante relativamente à demanda não havia, por questões de atratividade econômica, motivação para investimentos na cogeração com uso de combustíveis renováveis como bagaço e outros. Mais recentemente, o forte aumento do preço do petróleo, o crescimento da demanda de energia elétrica e as pressões sociais por menores impactos ambientais resultantes do uso de combustíveis geraram um ambiente favorável aos combustíveis renováveis, com atratividade econômica para sua maior exploração.

O maior interesse pela ampliação do uso do álcool como combustível automotivo está aumentando no país a área cultivada de cana-de-açúcar para sua produção. A maior produção conseqüente de palha pelo aumento da produção de cana-de-açúcar, ampliada pela necessidade ambiental de eliminação da sua queima para colheita, e a pressão ambiental na busca crescente de uso de combustíveis renováveis estão empurrando empresários e governo na direção de ampliar os investimentos em cogeração com uso de bagaço e palha da cana. Está cada vez mais atraente, do ponto de vista econômico e ambiental, a adoção de estratégias de investimento em cogeração nas usinas de açúcar e álcool. O preço de mercado da energia elétrica, com tendência crescente, é outro impulsionador dessa vertente estratégica. O item 3.2, análise de desempenho de concepções de cogeração em usinas de açúcar e álcool, mostra claramente os benefícios energéticos de geração de energia elétrica com adoção de concepções modernas de cogeração.

5.3 Análise de correlação comparativa

5.3.1 Gestão x eficiência de conversão de sacarose e outros açúcares

A Figura 18 mostra a pontuação de gestão versus eficiência industrial relativa (eficiências de conversão de sacarose e outros açúcares), mostrando haver correlação direta entre esses dois indicadores para as usinas pesquisadas. As usinas A e B apresentam valores maiores que as usinas C e D para os dois indicadores.

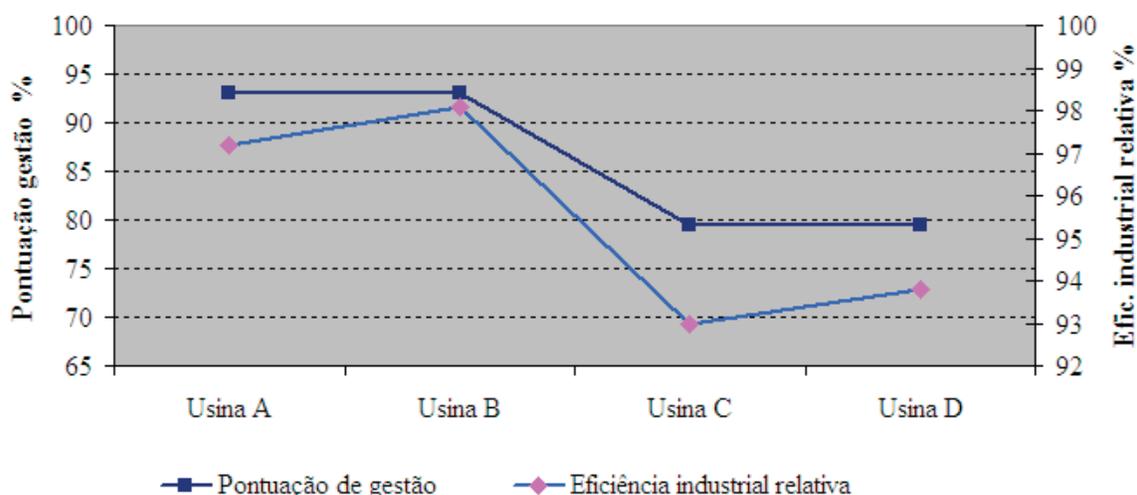


Figura 18 – Pontuação de gestão (%) versus eficiência industrial relativa (%). Elaborada pelo autor.

5.3.2 Gestão x consumo energético dos processos

A Figura 19 apresenta a pontuação de gestão, em percentual da avaliação máxima, versus economia no consumo de bagaço pelo processo, expresso em percentual relativamente ao bagaço total produzido. Pode ser observado que as usinas com maior pontuação de gestão também apresentam maiores economias no consumo de bagaço pelo processo. Entretanto, as informações coletadas nas usinas evidenciam que o indicador de economia de bagaço está muito relacionado com a adoção da estratégia de geração e venda de energia elétrica. A usina A adota essa estratégia desde 2002 e a usina B está implementando a mesma estratégia para venda de energia a partir de 2009. As usinas C e D têm estratégia de crescimento de produção de açúcar e álcool, não cogitando ainda em entrar no mercado de energia elétrica por considerar mais interessante investir na ampliação da produção com instalação de novas usinas. Quando for feita a opção estratégica por investimentos para geração e venda de energia, certamente será dada prioridade

também aos investimentos em economia de energia nos processos para maior sobra de bagaço e sua conversão em energia elétrica.

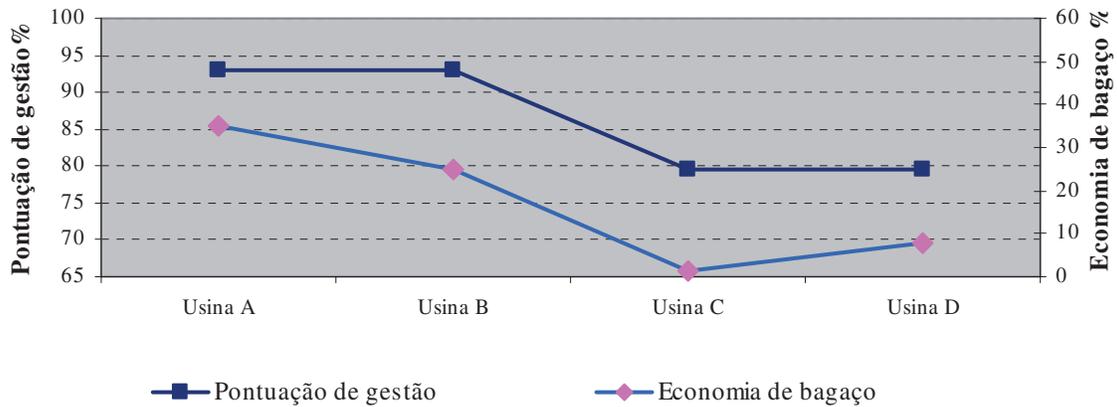


Figura 19 - Pontuação de gestão (%) versus economia de bagaço (%). Elaborada pelo autor.

A Figura 20 mostra a economia de bagaço versus consumo de vapor nos processos. Como era esperado, usinas que não têm estratégias de geração e venda de energia elétrica também não investem em melhorias de eficiência energética dos seus processos, consumindo assim maior quantidade de vapor, que conseqüentemente gera menor economia de bagaço.

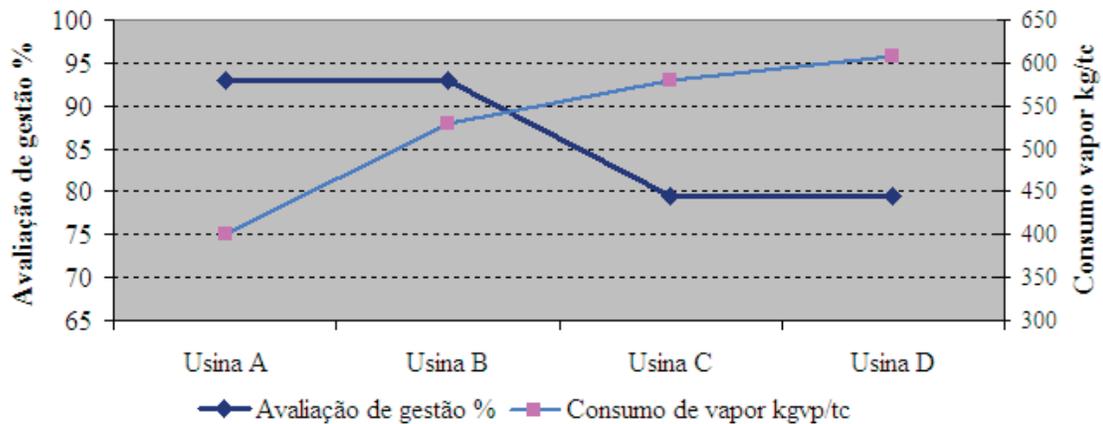


Figura 20 – Economia de bagaço versus consumo específico de vapor. Elaborada pelo autor.

5.3.3 Consumos específicos de vapor e energia elétrica

Os indicadores de consumo específico de vapor e de energia elétrica nos processos apresentados na Figura 21 indicam que eles são inversamente proporcionais. A usina A, única entre as quatro pesquisadas com estratégia de geração e venda de energia elétrica no momento, fez investimentos para melhorar a eficiência energética dos processos para usar a sobra de bagaço decorrente para aumentar a geração de energia elétrica. Esses investimentos contemplaram a substituição de alguns acionamentos mecânicos por turbinas para acionamentos por motores elétricos, o que explica o maior consumo específico de energia elétrica. As usinas A e B têm planos de investimentos no médio prazo para mudar os acionamentos das moendas também para motores elétricos, o que vai aumentar ainda mais o consumo específico de energia elétrica. Essas usinas terão concepção de cogeração similar à de número 11 analisada no item 3.2, porém queimando bagaço e palha, sem uso de biogás, e com caldeiras de alta e média pressão em vez de somente caldeiras de alta pressão. A usina B tem posição ligeiramente melhor que as usinas C e D em consumos específicos de vapor e energia elétrica por contar com uma caldeira e turbogerador de média pressão (42 kgf/cm²), gerando e vendendo em torno de 10 MW de energia a mais que seu consumo próprio; enquanto as usinas C e D contam apenas com caldeiras e turbogeradores de 21 kgf/cm², gerando apenas para consumo próprio.

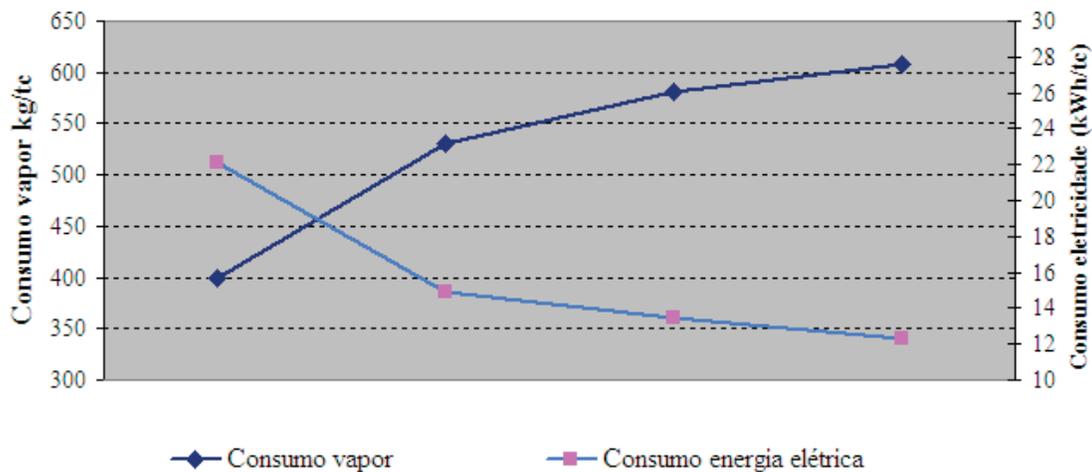


Figura 21 – Consumos específicos de vapor versus energia elétrica. Elaborada pelo autor.

6 Considerações finais

A análise de correlação comparativa entre indicadores de eficiência de gestão e indicadores de eficiência energética, para confirmação da consideração de que tais indicadores têm correlação direta, foi conduzida em apenas quatro usinas, representando percentual baixo relativamente a mais de uma centena de usinas do Estado de São Paulo. Embora a representatividade da amostra seja pequena, a extensão da análise com uma amostra maior de usinas, com níveis de representatividade estatisticamente aceitáveis, deve levar a generalização e conclusões similares.

As principais análises descritas neste item estão resumidas nos dois itens abaixo. O primeiro item é relativo às avaliações de gestão; o segundo item é relativo às relações entre indicadores de gestão e resultados energéticos, incluindo também considerações sobre as relações específicas entre consumo de vapor e de energia elétrica.

6.1 Considerações sobre indicadores de gestão

A pontuação da avaliação das práticas de gestão para os critérios 1, 2, 5, 6 e 7 mostra que as Usinas A e B obtiveram 93 % da pontuação máxima contra 80 % das Usinas C e D. Essa diferença foi muito influenciada pelas menores avaliações obtidas pelas duas últimas usinas para o aspecto 5, e em menor grau para o aspecto 4, para a maioria dos itens dos cinco critérios avaliados. Isso indica que elas têm espaço para melhoria de uso da prática de avaliação global de desempenho conforme requisito do aspecto 4 do item 1.2 (Cultura da excelência) do critério 1 (Liderança): *a organização possui mecanismos que permitem avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional* (FNQa, 2006a, p.24).

A análise da Figura 13 mostra que as usinas A e B têm avaliações melhores que as usinas C e D para todos os itens, com exceção dos itens 5.2 e 6.2, nos quais os resultados se invertem. A Figura 14 mostra que, em geral, todas as usinas têm avaliações melhores para os aspectos 1, 2 e 3 dos cinco critérios avaliados, caindo nas avaliações do aspecto 4 e, mais significativamente, nas avaliações do aspecto 5. Resultados mais detalhados das avaliações dos cinco critérios podem ser observados nas figuras 14, 15 e 16. O conteúdo de referência para as avaliações de cada aspecto dos itens avaliados pode ser visto no Apêndice III.

Ficou bastante evidente que a gestão econômico-financeira (Critério 7 - item 7.4) é priorizada de maneira enfática por todas as usinas pesquisadas, pois obtiveram avaliação máxima neste item.

6.2 Considerações entre indicadores de gestão e energéticos

A Figura 18 mostra relação direta entre os resultados de *avaliação de gestão* e os de *eficiência industrial relativa*. Embora possa parecer que a gestão dos Processos (critério 7) afete de modo mais incisivo a eficiência industrial, os outros quatro critérios avaliados também têm influência indireta significativa. Uma boa Liderança (critério 1) impacta fortemente os resultados de Pessoas (critério 6), gerando clima de motivação e compromisso de toda a força de trabalho. Assim como Estratégias e Planos (critério 2), definindo um conjunto de indicadores desdobrados do nível estratégico ao operacional, com participação de todos os níveis de gerência e supervisão. A gestão de Informações e Conhecimento (critério 5) é fundamental como suporte para os outros quatro critérios avaliados. Assim, todos esses critérios conjuntamente impactam a eficiência industrial. Entretanto, pela pequena amostragem de usinas avaliadas, tal afirmativa não pode ser generalizada, embora seja bastante provável que seria confirmada para amostragem estatisticamente adequada para essa análise, o que confirmaria a hipótese dessa dissertação.

Embora tanto as usinas A e B como as usinas C e D tenham tido avaliações muito boas no critério 7 (Processos), as usinas C e D apresentaram eficiências industriais relativas bem menores que as usinas A e B. Considerando que a gestão dos processos possa ter influência maior nos resultados de conversão relativamente aos demais critérios, é recomendável uma avaliação comparativa mais detalhada de toda a cadeia de processos para justificar os motivos da maior perda de conversão das usinas C e D relativamente à perda das usinas A e B.

Embora a Figura 19 mostre correlação direta entre resultados de gestão e de economia de bagaço, ficou claro que a economia de bagaço está mais diretamente relacionada com as estratégias adotadas de geração e venda de energia, quase sempre acompanhadas de investimentos para melhoria da eficiência dos processos industriais.

A Figura 20 mostra a relação inversa esperada entre o consumo de vapor e a economia de bagaço nos processos. Se todas as usinas adotassem estratégia de geração e venda de energia elétrica, as curvas de consumo de vapor e de economia de bagaço teriam perfis mais horizontais.

A relação entre consumo próprio de energia elétrica e consumo de vapor nos processos, como mostrado na Figura 21, indica o que era esperado. Usinas com estratégias de adoção de geração e venda de energia elétrica têm também menores consumos de vapor, uma vez que os investimentos em eficiência energética dos processos são revertidos em maiores lucros com a venda maior de energia elétrica gerada com a maior sobra conseqüente de bagaço. O aumento do consumo específico de energia elétrica decorre da substituição de turbinas a vapor por motores elétricos para melhor eficiência de acionamentos, em conjunto com as melhorias das eficiências de trocas térmicas nos equipamentos de aquecimento e evaporação dos processos.

6.3 Algumas conclusões e sugestões

O conhecimento do sistema de gestão das usinas pesquisadas mostrou que elas têm bom desempenho gerencial, com práticas consideradas inovadoras para muitos dos itens avaliados. Algumas dessas práticas não foram plenamente utilizadas na avaliação por serem específicas de determinados processos, nem sempre comparáveis entre as usinas pesquisadas por insuficiência de informações obtidas. Como exemplo pode ser citado o processo de recepção da cana-de-açúcar de algumas usinas, que disponibiliza uma quantidade apreciável de dados dos processos agrícolas, inclusive com geo-referenciamento, possibilitando análise crítica para aprendizagem organizacional e melhoria de desempenho global integrado da indústria e lavoura. Essa análise pode incluir também os fornecedores de cana-de-açúcar, com benefícios mútuos para si e para a usina que processa sua matéria prima.

A metodologia adotada para elaboração desta dissertação pode ser considerada adequada para os fins a que se propôs. Entretanto, para aplicação de pesquisa similar em outros grupos de usinas ou ampliado para maior número de usinas, seria recomendável uma melhoria no processo de coleta das informações para as avaliações de gestão e consumo energético. Por exemplo, as informações sobre prática de gestão, através de entrevistas cuidadosamente preparadas com os principais gerentes dos itens avaliados, pode ser melhorado com negociação de retorno às usinas após tratamento das informações obtidas visando melhor precisão das avaliações. Com relação às informações relativas aos indicadores energéticos, também pode haver melhoria de entendimento e uso com análises e interpretações conjuntas dos dados e informações obtidas após seu primeiro tratamento.

Embora a avaliação simplificada de gestão não tenha sido efetivada conforme expectativa planejada inicialmente, com mais detalhes de informações e verificações de resultados com base em evidências objetivas, ela foi suficiente para atingir o objetivo da dissertação. Entretanto, para continuação ou extensão da pesquisa seria recomendável ampliar o tempo de agenda de entrevistas para melhor aprofundamento e conseqüente precisão dos resultados obtidos. Uma avaliação mais detalhada, considerando verificações documentais para confirmações com evidências objetivas do que foi avaliado de forma simplificada, seria recomendável para melhor conhecimento das relações de causa e efeito das práticas de gestão e padrões de trabalho nos resultados. Para tanto, seria necessária melhor negociação das condições de pesquisa entre o pesquisador e as direções das usinas participantes, com apoio da universidade através de representantes com bom relacionamento com o setor sucro-alcooleiro.

A adoção do modelo da FNQ é recomendável como um SMDO para o setor sucro-alcooleiro, e certamente será bem acolhido pelos resultados que pode trazer com sua adoção. Alguns gerentes entrevistados demonstraram satisfação com a metodologia, pois complementa necessidades não atendidas pelos sistemas em uso. Ficou bastante clara a percepção da conveniência de adoção do referencial de avaliação para 1.000 pontos (FNQb, 2006), mesmo que algumas futuras usinas pesquisadas venham a ter avaliações aquém dos 500 pontos. Uma melhoria importante no processo de avaliação de gestão seria o aprofundamento de obtenção de informações sobre as práticas de gestão e padrões de trabalho, para geração de um Relatório Gerencial, mesmo que simplificado, em vez de registro de dados e informações das entrevistas como base para as avaliações. Esse relatório seria um produto de compromisso mútuo entre o pesquisador e as usinas pesquisadas, constituindo-se em documento gerencial para cada usina, passível de aprimoramentos continuados pelo corpo gerencial delas. Ele serviria como um instrumento formal de autoavaliação de desempenho, como considerado pela Fundação Nacional da Qualidade. Para tanto seria recomendável que um grupo selecionado de gerentes das usinas pesquisadas fosse desenvolvido no processo de avaliação pelos critérios da FNQ, no mínimo participando do programa de desenvolvimento à distância disponibilizado gratuitamente pela Fundação.

Referências

AIDAR, M. M. (2003) *A institucionalização da gestão e do desempenho organizacional por meio do Prêmio Nacional de Qualidade*. Tese (doutorado), Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2003. 255 p.

BOSSIDY, L., & CHARAY, R. (2005). *Execução: a disciplina para atingir resultados*. Rio de Janeiro: Elsevier: Campus, 7º ed., 2005. 261 p.

CAMPOS, V. F. (2004) *TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)*. Nova Lima-MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 7º ed., 2004. 256 p.

CAMPOS, V. F. (1996) *Gerenciamento pelas diretrizes*. Belo Horizonte-MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996. 331 p.

CLARK, L. A. (1995) *Development, application, and evaluation of an organizational performance measurement*. These (Doctor in Industrial Engineering), Industrial & System Engineering Department, Virgínia Polytech Institute, State Univewrsity, Blacksburg, 1995

COPERSUCAR (1983) *I Seminário de tecnologia industrial*. Piracicaba: Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 1983, 483 p.

COPERSUCAR (1985) *II Seminário de tecnologia industrial*. Piracicaba: Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 1985, 648 p.

COPERSUCAR (1987) *III Seminário de tecnologia industrial*. Piracicaba: Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 1987, 748 p.

COPERSUCAR (1990) *IV Seminário de tecnologia industrial*. Piracicaba: Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 1990, 393 p.

COPERSUCAR (1993) *V Seminário de tecnologia industrial*. Piracicaba: Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 1993, 434 p.

DAL BEM, J. A. (2005) *Modelagem e simulação para o processo industrial de fabricação de açúcar e álcool*, Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial (FIPAI) - Revista Minerva, São Carlos, SP, 33-46, 2005.

DEMING, W. E. (1990) *Qualidade: A revolução da administração*. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990. 367 p.

FERNANDES, A. C. (2003) *Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar*, 2.ed., STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, Piracicaba, 2003, 240p

FIGUEIREDO, M. A. D. (2003) *Sistema de medição de desempenho organizacional: um modelo para auxiliar a sua autoavaliação*. Rio de Janeiro: FEP, UFRJ, 2003. Tese (doutorado), Faculdade de Engenharia de Produção, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. 262 p.

FNQ a. (2006) *Fundação Nacional da Qualidade – Rumo a Excelência*, São Paulo, 2006, 83p.

FNQ b. (2006) *Fundação Nacional da Qualidade - Critérios de Excelência*, São Paulo, 2006, 59p.

GHALAYNI, A. M.; NOBLE, S. A.; CROWE, T. J. (1996) An integrate dynamic performance system. *International Journal of Production Economic*, v.48, n.3, p.207-225, 1996.

GHALAYNI, A. M.; NOBLE, S. A.(1996) The changing basis of performance measurement. *Journal of Operations & Production Management*, v.16, n.8, p. 63-80, 1996.

GUEDES, S.N.B., GALLO, Z. e MARTINS, L.A.T.P (2002). Passado, presente e futuro da agroindústria canavieira no Brasil. In: SHIKIDA e MORAES (org). *Agroindústria Canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios*. São Paulo: Editora Atlas. 2002, p. 308-326.

HERRERO FILHO, E. (2005) *Balanced scorecard e a gestão estratégica: uma abordagem prática*. Rio de Janeiro: Elsevier: Campus, 2005, 241 p.

ISO/TC 176/SC 2/N 544R2. (2003) *Introduction and support package: guidance on the concept and use of the process approach for management systems. ISO/TC 176/SC 2/N 544R2*. Disponível em: www.iso.org; <http://www.bsi.org.uk/iso-tc176-sc2>. Acesso: dez 2003.

NBR ISO 9004:2000.(2000) *Sistemas de gestão de qualidade - diretrizes para melhoria de desempenho*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

KAPLAN, R. S. & NORTON, D. P. (1997) *A estratégia em ação: balanced scorecard*. Rio de Janeiro: Campus, 8^o ed., 1997. 344 p.

KENNERLY, M. P.; NEELY, A. (2002) Performance measurement frameworks: a review. In. NEELY,A. *Business Performance Measurement: Theory and Practice*, Cambridge University Press, 2002.

MACEDO, I. C. A (org). (1987) *Considerações sobre eficiência na produção de açúcar e álcool*. Boletim Técnico Copersucar – 36/87 – São Paulo – 1987.

MACEDO, I. C. A (org). (2005) *A Energia da Cana-de-Açúcar - Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade*. São Paulo: Berlendis & Vertecchia: ÚNICA - União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, 2005. 236 p.

MACEDO, I.C. e NOGUEIRA, L. A. H. (1985) *Balanco de energia na produção de cana de açúcar e álcool nas usinas cooperadas* - Boletim Técnico Copersucar – 31/85, São Paulo, 1985.

MARCOS, E. L. (2005) *Relatório final de projeto de iniciação científica - Aspectos da gestão da qualidade no setor sucro-alcooleiro*. Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005. 27 p.

MARIOTONI, M. A. (2004) *O desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro no estado de São Paulo (1975-1985)*. Dissertação (mestrado), Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2004, 118 p.

MARTINS, R. A. (1999) *Sistema de medição de desempenho: um modelo para estruturação do uso*. São Paulo: USP, 1999. Tese (doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. 247 p.

MAXIMIANO, A. C. A. (2004) *Teoria geral da administração: da revolução urbana à revolução digital*. São Paulo: Atlas, 4^o ed. 2004. 521 p.

MOURA, E. C. (1994). *As sete ferramentas gerenciais da qualidade: implementando a melhoria contínua com maior eficácia*. São Paulo: Makron Books, 1994. 118 p.

NEELY, A. ET AL. (2000) Performance measurement system design: developing and testing a process-based approach. *International Journal of Operations & Production Management*, v.20, n.10, p. 1119-1145, 2000.

NEELY, A. ADAMS, C.; CROWE, P. (2001) The performance prism in practice. *Measuring Business Excellence*, v.5, n.2, p.6-13, 2001.

NOGUEIRA, L. A. H. (1987). *Análise da utilização de energia na produção de álcool de cana-de-açúcar*. Campinas: Unicamp, 1987. Tese (doutorado), Faculdade de Engenharia de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1987. 164 p.

OLIVÉRIO, J.L. (2003) *Como otimizar a energia elétrica gerada na indústria da cana-de-açúcar*. Palestra, VI Seminário Internacional de Geração Distribuída do INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética, Dedini S/A (www.dedini.com.br), Piracicaba, 2003.

PEREIRA, J. T. V. (2004). Energy and Sustainability. In: *IV Biennial International Workshop - Advances in Energy Studies – Energy-Ecology Issues in Latin America*, 2004, Campinas, SP, Brasil, pg 103-110.

PEREIRA, J. T. V. e DALBEM, J. A. (2006) *Energy evaluation of sugar cane production in Brazil: a case study*. In: *V Biennial International Workshop – Advances in Energy Studies. Perspectives on Energy Futures*. Porto Venere, Italy, 12-16 sep 2006.

PETERS, T. J. e WATERMAN Jr., R. H. (1986) *Vencendo a crise: como o bom senso empresarial pode superá-la*. São Paulo: Harbra, 11^o ed. 1986. 351 p.

RUMMLER, G. A. e BRACHE, A. P. *Melhores desempenhos das empresas: um abordagem prática para transformar as organizações através da engenharia*. São Paulo: Makron Books, 2^o ed. 263 p.

SHIKIDA, P.F.A., NEVES, M.F. e REZENDE, R.A. (2002). Notas sobre dinâmica e agroindústria canavieira no Brasil. In: SHIKIDA e MORAES (org). *Agroindústria Canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios*. São Paulo: Editora Atlas. 2002, p. 120-138.

SOUZA, Z. (2002). Evolução e considerações sobre a cogeração de energia no setor sucroalcooleiro. In: SHIKIDA e MORAES (org). *Agroindústria Canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios*. São Paulo: Editora Atlas. 2002, p. 214-240.

WOMACK, J.P., JONES, D.T. e ROOS, D. (1992) *A Máquina que Mudou o Mundo*. Rio de Janeiro: Campus, 1992. 347 p.

APÊNDICES

Apêndice I - Participação do autor em administração e gestão

A primeira participação do autor em atividades de administração foi no Trabalho de Formatura de graduação em engenharia mecânica, em 1967, relacionado com a disciplina Organização Industrial. O trabalho constou de um diagnóstico do processo de produção de uma empresa de formulação de adubos químicos, análise dos processos principais e proposta de racionalização do sistema de produção. A principal ferramenta de gestão usada foi o Diagrama de Pareto, para identificar as áreas críticas de melhoria no tocante à racionalização de uso de recursos, principalmente equipamentos, combustíveis, energia elétrica e mão de obra.

A segunda participação foi em planejamento e coordenação de trabalhos de manutenção em parada programada de unidade fabril de produção de fertilizantes e caldeiras geradoras de vapor de alta pressão (120 kg/cm²) na Petrobras. Além do aprendizado específico na formação universitária, foram usados conhecimentos de Planejamento adquiridos no Curso de Especialização da Petrobras (CENEQ 1968) e no curso de Administração Geral da USP/FEA em 1969, ministrado pelo Prof. Zaccarelli.

As realizações acima citadas, embora de pequeno significado quando comparadas às inúmeras realizações ao longo da carreira gerencial de 1972 até 2000, são importantes pelo fato de serem as primeiras concretamente praticadas após quatro anos de estudo do assunto e atuação como engenheiro, de 1968 até 1971.

No período de janeiro de 1971 até maio de 1972, segunda metade da fase de construção da Refinaria de Paulínia, houve aprendizado prático com base no livro Administração Eficaz, de R. Loen, não citado na bibliografia por não ter sido recentemente consultado. O diretor geral do Grupo de Obras Prioritárias da Petrobras (GEOP) adotava e recomendava os princípios básicos de gestão do referido livro, com forte foco nas atividades gerenciais de organizar, delegar, equipar e cobrar com os seguintes significados resumidos: *organizar* (definir atribuições, comando e normas para ações); *delegar* (dar autoridade para as ações, com compartilhamento de responsabilidades); *equipar* (dar condições para realizaras ações); e *cobrar* (ter controle rígido de resultados). O planejamento global de obra era desdobrado até o nível operacional, sem muita participação dos responsáveis pela execução, para ser realizado com rígido cumprimento, principalmente dos aspectos técnicos e de prazo, em uma organização formal hierarquicamente

forte. Era uma forma eficaz de gerenciamento na época por se tratar de construção de uma grande refinaria que precisava iniciar operação em prazo desafiador (refinaria dos mil dias).

De meados de 1972, partida operacional, até início da década de 80 prevaleceu na gestão operacional o estilo de gerência adotado na fase de obra, com a maioria dos gestores operacionais da refinaria, principalmente da administração superior, tendo atuado como gestores líderes daquela fase. Foi um período em que prevaleceu o foco na produção para atender a demanda crescente de mercado, com predominância do aspecto quantitativo sobre o qualitativo, este último se resumindo em atender às especificações legais da época. Os principais indicadores de gestão eram relacionados com uso de recursos, com foco principal em custos e orçamento. Essa prática confirma as principais citações acadêmicas de diversos autores que consideram a década de 80 como o início de uso de outros indicadores que não apenas os orçamentários e financeiros, além da adoção de um estilo de gerência mais participativa.

A partir do início da década de 80 o ambiente gerencial começou a considerar os conceitos de qualidade e suas ferramentas fundamentais, com forte referência às práticas de gestão japonesas, desenvolvidas e aplicadas a partir da década de 50. O Prof. Deming³¹ foi uma das principais competências ocidentais na promoção do desenvolvimento do Japão do pós-guerra. Na Petrobras, como em outras grandes empresas brasileiras, neste período iniciou-se o movimento de gestão da qualidade, com adoção do chamado Sistema de Garantia da Qualidade (SGQ), com foco mais em gestão ampla que apenas em controle e inspeção da produção. Antes disso apenas a área nuclear, por conta da usina de Angra dos Reis, estava se ocupando do assunto qualidade no Brasil, por força de acordo bilateral entre Brasil e Alemanha, para bom gerenciamento dos riscos operacionais inerentes a uma usina nuclear.

No início da década de 80 iniciou na Petrobras um vigoroso programa de Desenvolvimento Gerencial (DG), cujo principal programa foi o CBG - Curso de Desenvolvimento Gerencial para capacitar seus gestores nas modernas técnicas de gestão requeridas para assegurar bom desempenho empresarial. Para tanto foram contratados renomados acadêmicos de universidades brasileiras e consultores especialistas em práticas gerenciais de interesse específico. Esse desenvolvimento em massa ao longo de vários anos, envolvendo centenas de gerentes de todos os órgãos operacionais e corporativos da empresa, dentre os quais o autor deste trabalho, foi base de sustentação para adoção da gestão da qualidade. Merece destaque o Sistema de Garantia da

³¹ W. Edwards Deming autor de *Qualidade: A revolução da Administração*, 1990.

Qualidade (SGQ) na década de 80 e certificação pelos requisitos das normas ISO, séries 9000 e 14000, de Qualidade e Meio Ambiente na década de 90.

Outros referenciais normativos para as áreas de Segurança e Saúde Ocupacional, como a OSHAS 18000, e de Responsabilidade Social, como a SA 8000, também foram adotados mais ao final desse período.

O autor dessa dissertação foi um dos primeiros gestores da área de refino a receber capacitação através de vários programas específicos na área da Qualidade, sendo o primeiro deles em 1985 com a participação no curso sobre SGQ do IBP (Instituto Brasileiro do Petróleo). Após essa aprendizagem elaborou um artigo-proposta sobre Sistema de Garantia da Qualidade na Manutenção, publicado no Boletim Técnico da Petrobras, tendo em seguida ministrado várias palestras internas e externas sobre o assunto. Assessorado por consultor externo egresso dos quadros da Nuclebras, atendendo designação para desenvolvimento de programa para a área de refino da empresa, desenvolveu uma proposta de adoção do Sistema de Garantia da Qualidade para todo o Departamento Industrial. Este sistema foi adotado apenas parcialmente na ocasião, certamente por questões culturais das lideranças, sendo precursor das certificações posteriores pelos requisitos da norma ISO 9001 no início da década de 90.

Posteriormente, após liderar as certificações de uma refinaria de grande porte pelos requisitos da ISO 9001 (Qualidade) e em seguida também pela ISO 14001 (Meio Ambiente), vale destacar que essa última certificação foi um desafio imposto pela diretoria da empresa a cinco órgãos operacionais, em ambiente cultural de pouca valorização de questões ambientais. Na manutenção compulsória posterior dessas certificações de Qualidade e Meio Ambiente, o autor liderou a primeira certificação integrada do refino concomitantemente pelas normas ISO 9001, ISO 14001 e OSHAS 18000. Nessa ocasião atuou também como líder na avaliação interna do Serviço de Engenharia com base em relatório de preparação para certificação formal pela ISO 14001.

A partir 1992, com a criação da FPNQ (Fundação para o Prêmio Nacional da Qualidade) em outubro de 1991, o Modelo de Excelência da Gestão da Fundação passou a ser considerado referência na Petrobras. Mesmo sem a intenção de concorrer ao Prêmio Nacional da Qualidade, a partir de 1994 várias refinarias, seguindo os passos dos órgãos corporativos de Material (SERMAT) e de Engenharia (SEGEN), passaram a elaborar seus Relatórios de Gestão pelos critérios da FNPQ para pontuação por avaliadores internos capacitados para tal finalidade, com

apoio externo de avaliadores credenciados pela Fundação. O autor desse trabalho foi qualificado pela Petrobras para avaliações internas dos órgãos da empresa, tendo praticado a aprendizagem de diferentes formas. Coordenou a elaboração de dois relatórios de autoavaliação em duas diferentes refinarias como executivo principal delas e foi avaliador líder na avaliação do Serviço de Tecnologia de Informação da empresa com base em relatório de autoavaliação pelos critérios da FNQ.

Apêndice II – Planilhas de dados relativos às eficiências energéticas

Tabela 9 – Planilha para coleta de dados relativos às eficiências energéticas das usinas

DADOS E INFORMAÇÕES DAS USINAS PARTICIPANTES DA AVALIAÇÃO							
USINA:						SAFRA:	
BLOCO 1: DADOS BÁSICOS PARA AVALIAÇÃO (coloridos são essenciais)				BLOCO 2: DADOS SECUNDÁRIOS PARA AVALIAÇÃO (coloridos são essenciais)			
Item	Descrição do item	Unidade	Valor	Item	Descrição do item	Unidade	Valor
1	Cana processada	tc		21	Capacidade GV's 21 Kg/cm2 (instalada)	tvap/h	
2	Sacarose	POL-PCTS		22	Eficiência GV's 21 Kg/cm2	%	
3	Fibra seca	PCTS		23	Temperatura do vapor de 21 kg/cm2	°C	
4	Índice de extração de sacarose	%		24	Consumo bagaço GV's 21 kg/cm2	tvap/tbag	
5	Sacarose bagaço (POL-seco)	POL-seco		25	Capacidade GV's 42 Kg/cm2 (instalada)	tvap/h	
6	Bagaço produzido (especificar umidade média)	tbg		26	Eficiência GV's 42 Kg/cm2	%	
7	PCI do bagaço (úmido)	kcal/kg		27	Temperatura do vapor de 42 kg/cm2	°C	
8	Consumo próprio bagaço (vapor e eletricidade)	tbg		28	Consumo bagaço GV's 42 kg/cm2	tvap/tbag	
9	Consumo bagaço geração energia vendida	tbg		29	Capacidade GV's 65 Kg/cm2 (instalada)	tvap/h	
10	Sobra de bagaço (não usado)	tbg		30	Eficiência GV's 65 Kg/cm2	%	
11	Consumo total vapor processos	kgvap/tcana		31	Temperatura do vapor de 65 kg/cm2	°C	
12	Energia elétrica (consumo próprio)	MWh		32	Consumo bagaço GV's 65 kg/cm2	tvap/tbag	
13	Energia elétrica (vendida para terceiros)	MWh		33	Pressão do vapor de processo	kg/cm2	
14	Produção açúcar	ta		34	Temperatura do vapor de processo	°C	
15	Produção álcool anidro	m3		35	Capacidade geração 21 Kg/cm2 (média gerada)	MW	
16	Produção álcool hidratado	m3		36	Consumo específico 21 Kg/cm2	tvap/h/MW	
17	Eficiência média de fermentação	%		37	Capacidade geração 42 Kg/cm2 (média gerada)	MW	
18	Ciclo médio de fermentação	h		38	Consumo específico 42 Kg/cm2	tvap/h/MW	
19	Outros produtos (levedura, por exemplo)	kg		39	Capacidade geração 65 Kg/cm2 média gerada)	MW	
20	Sacarose equivalente contida outros produtos	kg		40	Consumo específico 65 Kg/cm2	tvap/h/MW	

Apêndice III – Conteúdo de requisitos dos aspectos dos itens de gestão avaliados

Critério 1: Liderança

Item 1.1: Sistema de liderança

Aspecto 1: A liderança na organização é exercida de forma a permitir que as decisões sejam tomadas, comunicadas e implementadas visando atender de forma harmônica e balanceada as necessidades das partes interessadas.

Aspecto 2: A Alta Administração interage com todas as partes interessadas, demonstrando comprometimento e buscando oportunidades para a organização.

Aspecto 3: Os líderes atuais são avaliados com base em competências de liderança previamente estabelecidas.

Aspecto 4: Os líderes atuais são desenvolvidos nas competências de liderança estabelecidas.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 1.2: Cultura de excelência

Aspecto 1: Os valores e diretrizes organizacionais, definidos para promover a cultura da excelência e o atendimento às necessidades das partes interessadas, estão disseminados na organização.

Aspecto 2: A organização assegura que os valores e as diretrizes organizacionais são entendidos e aplicados pela força de trabalho.

Aspecto 3: A organização possui métodos para o estabelecimento de padrões de trabalho para as principais práticas de gestão e estão definidos mecanismos de controle que permitam verificar se estes padrões estão sendo cumpridos.

Aspecto 4: A organização possui mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 1.3 – Análise crítica do desempenho global

Aspecto 1: O desempenho global da organização é analisado criticamente considerando os resultados dos indicadores de desempenho global.

Aspecto 2: A análise crítica do desempenho global considera as necessidades das partes interessadas, as estratégias, os planos de ação, as informações comparativas pertinentes e as variáveis do ambiente externo.

Aspecto 3: As decisões da análise crítica do desempenho global são comunicadas a todos os níveis da organização.

Aspecto 4: A implementação das ações decorrentes da análise crítica do desempenho global é acompanhada.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Critério 2: Estratégias e Planos

Item 2.1: Formulação das estratégias

Aspecto 1: A organização possui um processo de formulação de estratégias que considera as necessidades das partes interessadas e que permite direcionar suas ações e maximizar o seu desempenho.

Aspecto 2: O processo de formulação das estratégias utiliza informações íntegras e atualizadas em relação às necessidades das partes interessadas, variáveis de mercado e necessidades operacionais.

Aspecto 3: A organização assegura que as estratégias formuladas são coerentes com as necessidades das partes interessadas.

Aspecto 4: As estratégias são comunicadas à força de trabalho e às demais partes interessadas pertinentes visando o estabelecimento de compromissos mútuos.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 2.2 - Desdobramento das estratégias

Aspecto 1: As estratégias são desdobradas em planos de ação, de curto e longo prazos, por toda a organização, onde aplicável, com o envolvimento da força de trabalho

Aspecto 2: Os recursos necessários à implementação dos planos de ação estão alocados e disponibilizados.

Aspecto 3: Os planos de ação são comunicados à força de trabalho.

Aspecto 4: A organização acompanha a realização dos planos de ação.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 2.3: Planejamento da medição do desempenho

Aspecto 1: Os indicadores utilizados na medição do desempenho da organização permitem monitorar as suas estratégias e operações em todos os níveis.

Aspecto 2: Os principais indicadores de desempenho são classificados e integrados para facilitar a análise crítica.

Aspecto 3: Os principais indicadores possuem metas alinhadas às estratégias.

Aspecto 4: Os indicadores de desempenho e as metas são comunicados à força de trabalho e às demais partes interessadas pertinentes.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Critério 5: Informações e Conhecimento

Item 5.1: Gestão das informações da organização

Aspecto 1: A organização possui métodos para identificar e organizar as informações sistematizadas necessárias para apoiar as operações diárias e a tomada de decisão.

Aspecto 2: A organização possui métodos para definir, desenvolver, implantar e atualizar sistemas de informação.

Aspecto 3: As informações necessárias estão disponibilizadas à força de trabalho.

Aspecto 4: As informações armazenadas e disponibilizadas são íntegras, seguras, atualizadas e tratadas quanto à confidencialidade.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 5.2 Gestão das informações comparativas

Aspecto 1: A organização possui métodos para identificar as necessidades e determinar as prioridades das informações comparativas pertinentes para analisar o nível de desempenho, estabelecer metas e melhorar produtos, processos e práticas de gestão.

Aspecto 2: A organização possui critérios para identificar as organizações consideradas como referenciais comparativos pertinentes.

Aspecto 3: As informações comparativas obtidas são íntegras e atualizadas.

Aspecto 4: As informações comparativas obtidas são utilizadas para a tomada de decisão e para a promoção de melhorias nos produtos, processos e nas práticas de gestão.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 5.3: Gestão do capital intelectual

Aspecto 1: A organização identifica os ativos que compõem o seu capital intelectual visando se diferenciar e aumentar o valor agregado dos seus produtos e serviços.

Aspecto 2: A organização incentiva o pensamento criativo e inovador visando desenvolver seu capital intelectual.

Aspecto 3: A organização possui métodos para se manter atualizada em relação às tecnologias e conhecimentos relacionados ao seu capital intelectual.

Aspecto 4: O capital intelectual da organização é protegido.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Critério 6: Pessoas

Item 6.1: Sistema de trabalho

Aspecto 1: A organização de trabalho e a estrutura de cargos são definidas e implementadas para promover a resposta rápida, iniciativa, criatividade, inovação, cooperação e comunicação eficaz.

Aspecto 2: As pessoas são selecionadas e contratadas levando-se em conta os requisitos de desempenho e práticas de igualdade e justiça.

Aspecto 3: O desempenho das pessoas da força de trabalho é avaliado, individualmente e em equipe, de forma a estimular a obtenção de melhores resultados, a promoção da cultura da excelência e o desenvolvimento profissional das pessoas.

Aspecto 4: A organização possui formas de remuneração, reconhecimento e incentivo que estimulam a obtenção de melhores resultados e a promoção da cultura de excelência.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 6.2: Capacitação e desenvolvimento

Aspecto 1: A organização identifica as necessidades de capacitação e desenvolvimento das pessoas da força de trabalho considerando as estratégias e os planos, e contando com a participação das pessoas a serem capacitadas

Aspecto 2: A força de trabalho é capacitada e desenvolvida para atender as suas necessidades e as da organização bem como as necessidades de desenvolvimento da cultura da excelência.

Aspecto 3: As habilidades e conhecimentos recém-adquiridos são avaliados em relação à sua utilidade na execução do trabalho e à sua eficácia no apoio à consecução das estratégias da organização.

Aspecto 4: A força de trabalho é desenvolvida pessoas e profissionalmente utilizando métodos de orientação, aconselhamento e desenvolvimento de carreira.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 6.3: Qualidade de vida

Aspecto 1: A organização identifica os perigos e trata os riscos relacionados à saúde, à segurança e à ergonomia.

Aspecto 2: A organização identifica e trata os fatores que afetam o bem-estar, a satisfação e a motivação das pessoas.

Aspecto 3: A satisfação, bem-estar e motivação das pessoas são avaliados e as informações obtidas são utilizadas para promover ações de melhoria da sua qualidade de vida.

Aspecto 4: O clima organizacional é mantido propício ao bem-estar, à satisfação e à motivação das pessoas por meio de serviços, benefícios, programas e políticas colocadas à disposição da força de trabalho.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Critério 7: Processos

Item 7.1: Gestão de processos relativos ao produto

Aspecto 1: Os produtos e processos de produção são projetados a partir de requisitos traduzidos das necessidades das partes interessadas pertinentes.

Aspecto 2: Os projetos são gerenciados para assegurar que os novos produtos sejam lançados isentos de não-conformidades e no prazo adequado.

Aspecto 3: Os processos industriais são gerenciados por meio de indicadores de desempenho que medem se os requisitos desses processos estão sendo atendidos

Aspecto 4: Os processos de produção são analisados e melhorados e as eventuais não-conformidades são adequadamente tratadas.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 7.2: Gestão de processos de apoio

Aspecto 1: A organização possui métodos para definir os novos processos de apoio e para adequar os existentes.

Aspecto 2: As necessidades dos clientes, dos mercados, da sociedade, dos processos relativos ao produto ou de outros processos de apoio aplicáveis são consideradas para estabelecer os requisitos dos processos de apoio.

Aspecto 3: Os processos de apoio são gerenciados por meio de indicadores de desempenho que medem se os requisitos desses processos estão sendo atendidos.

Aspecto 4: Os processos de apoio são analisados e melhorados e as eventuais não-conformidades são adequadamente tratadas.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 7.3: Gestão de processos relativos aos fornecedores

Aspecto 1: A organização possui critérios para selecionar e qualificar os seus fornecedores.

Aspecto 2: Os requisitos relacionados ao fornecimento são comunicados aos fornecedores de forma a evitar erros e problemas de relacionamento.

Aspecto 3: O desempenho dos fornecedores é monitorado por meio de indicadores de desempenho cujos resultados lhe são informados visando à implantação de melhoria.

Aspecto 4: Os fornecedores que atuam diretamente nos processos da organização são envolvidos e comprometidos com os valores e diretrizes organizacionais, incluindo os aspectos relativos à segurança, saúde e meio ambiente.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Item 7.4: Gestão econômico-financeira

Aspecto 1: A organização gerencia os aspectos que causam impacto na sustentabilidade econômica do negócio utilizando parâmetros econômico-financeiros que incluem os grupos de estrutura, liquidez, atividade e rentabilidade.

Aspecto 2: A organização assegura os recursos financeiros para atender às suas necessidades operacionais, mantendo equilibrado o fluxo financeiro.

Aspecto 3: A organização define os recursos financeiros para realizar os investimentos visando apoiar as estratégias e planos de ação.

Aspecto 4: O orçamento é elaborado e é gerenciado considerando as estratégias e as necessidades operacionais da organização.

Aspecto 5: A organização possui, para esse item, mecanismos que permitam avaliar e melhorar, de forma global, as práticas de gestão e respectivos padrões de trabalho, promovendo o aprendizado organizacional, como o mecanismo sistematizado de Análise Crítica por toda a organização, aplicado de forma integrada, planejada e controlada, ou outro similar.

Apêndice IV – Exemplos de planilhas para avaliação de Enfoque e Aplicação e de Resultados

Tabela 10 – Planilha para avaliação do item 6.1: Pessoas - Sistemas de trabalho

AVALIAÇÃO (simplificada) COM BASE NO RUMO A EXCELÊNCIA 500 pontos DA FNQ - Práticas de Gestão e Padrões de Trabalho (enfoque e aplicação)												
ORGANIZAÇÃO: A												
PESSOAS: Sistemas de trabalho		Enfoque					Aplicação					
Item	Aspectos/Requisitos	Adequação	Controle	Proatividade	Refinamento	A-B-C-D	Disseminação	Continuidade	1-2-3-4	Total	%	Obs
6.1.	Aspecto 1: A organização de trabalho e a estrutura de cargos são definidas e implementadas para promover a resposta rápida, iniciativa, criatividade, cooperação e comunicação eficaz.											0
6.1.	Aspecto 2: As pessoas são selecionadas e contratadas levando-se em conta os requisitos de desempenho e práticas de igualdade e justiça.											0
6.1.	Aspecto 3: O desempenho das pessoas da Força de Trabalho é avaliado, individualmente e em equipe, de forma a estimular a obtenção de melhores resultados, a promoção da cultura da excelência e o desenvolvimento profissional das pessoas.											0
6.1.	Aspecto 4: A organização possui formas de remuneração, reconhecimento e incentivo que estimulam a obtenção de melhores resultados e a promoção da cultura da excelência.											0
6.1.	Aspecto 5: Uso de mecanismos de avaliação e melhorias, com uso de agenda, planos de ação e acompanhamento sistematizado dos planos.											0
Total do item (média dos aspectos)										0	0	
(1) Prática de gestão / Padrões de trabalho:												
(2) Prática de gestão / Padrões de trabalho:												
(3) Prática de gestão / Padrões de trabalho:												
(4) Prática de gestão / Padrões de trabalho:												
(5) Prática de gestão / Padrões de trabalho:												

Tabela 11 - Planilha para avaliação do item 8.3: Resultados - Resultados relativos às pessoas.

AVALIAÇÃO (simplificada) COM BASE NO RUMO A EXCELÊNCIA 500 pontos DA FNQ - Resultados (critério 8)								
ORGANIZAÇÃO: A								
Item e aspectos de avaliação	Relevância	Desempenho	A-B-C D-E	Tendência	1-2- 3-4	Pontos	%	Peso
8.3 - Resultados relativos às pessoas: Os resultados dos principais indicadores de desempenho relativos aos sistemas de trabalho e às práticas relativas à capacitação, desenvolvimento e qualidade de vida são relevantes e permitem avaliar a tendência e o nível de desempenho em relação aos referenciais comparativos pertinentes.								30
8.3.1. Absenteísmo							0	
8.3.2. Rotatividade							0	
8.3.3. Índice de satisfação dos colaboradores							0	
8.3.4. H. H. de treinamento							0	
8.3.5. Frequência e gravidade de acidentes de trabalho							0	
8.3.6. Escolaridade							0	
8.3.7. Indenizações							0	
6.3.8. Quantidades de ações trabalhistas							0	
NOTA: Os indicadores citados acima são meros exemplos, devendo ser considerados os indicadores efetivamente usados pela organização								

Descrição resumida da evolução de cada indicador nos últimos três anos.
8.3.1.
8.3.2.
8.3.3.
8.3.4.
etc.

Apêndice V - Figuras referentes ao item 3.2 (Análise de concepções de cogeração)

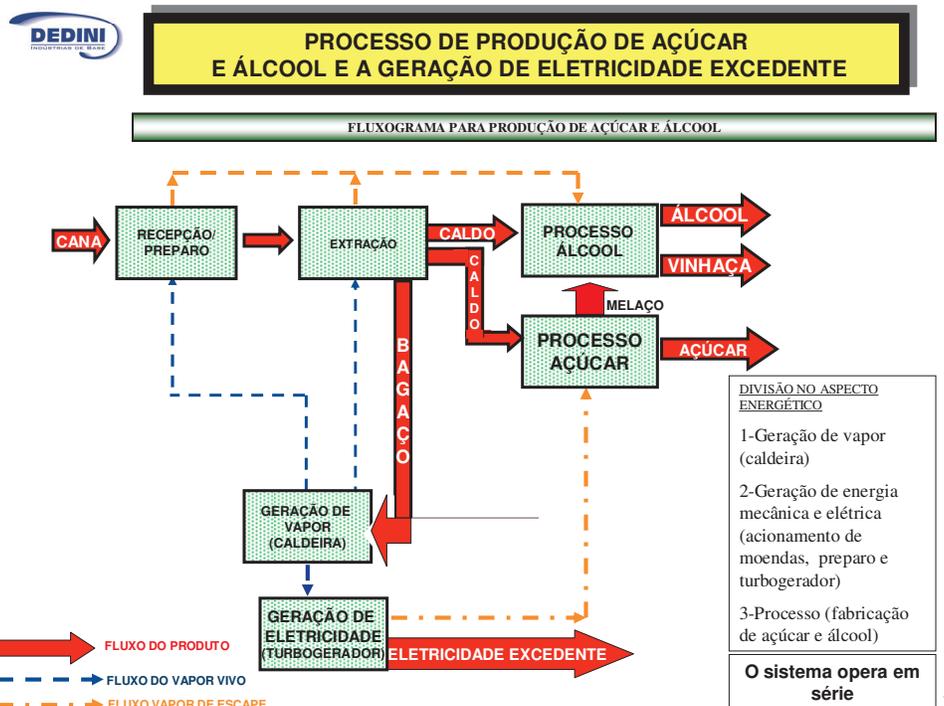


Figura 22 – Fluxograma para produção de açúcar e álcool.
Fonte: Olivério (2003)

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

Geração de Excedente de Energia Elétrica

Balanco Inicial

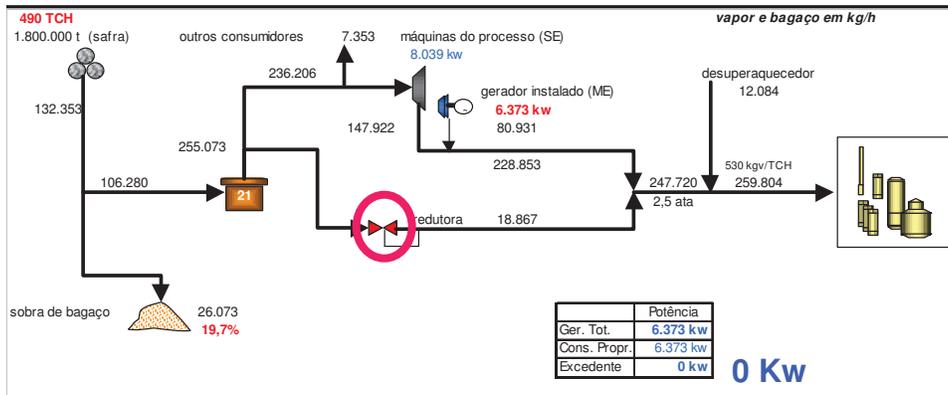


Figura 23 – Fluxograma de balanço energético sem geração e venda de energia.
Fonte: Olivério (2003)

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

Geração de Excedente de Energia Elétrica

Uso de 50% da Palha

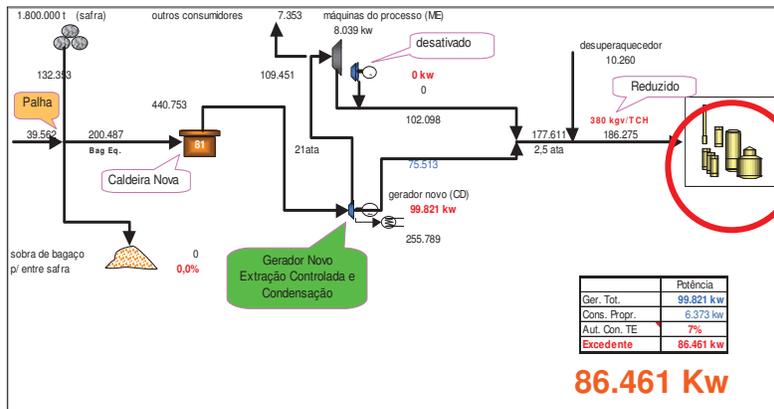


Figura 24 - Fluxograma de balanço energético com geração e venda de energia.
Fonte: Olivério (2003)