



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS QUÍMICOS

**MODELAGEM DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ÁLCOOL, BASEADA EM
INDICADORES, UTILIZANDO SOFTWARES TRANSACIONAIS, MES E
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de
Engenharia Química como parte dos requisitos exigidos
para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Química.

Encarnação de Lourdes Bassoli Andreo Gonçalves

Mestre em Ciência da Computação - UNIMEP

Prof. Dr. Rubens Maciel Filho

Orientador

Campinas – São Paulo

Outubro de 2011.

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

G586m Gonçalves, Encarnação de Lourdes Bassoli Andreo
Modelagem do processo de produção de álcool,
baseada em indicadores, utilizando softwares
transacionais, MES e automação industrial / Encarnação
de Lourdes Bassoli Andreo Gonçalves. --Campinas, SP:
[s.n.], 2011.

Orientador: Rubens Maciel Filho.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Indicadores. 2. Programação em tempo real. 3.
Software. 5. Indicadors. I. Maciel Filho, Rubens. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Alcohol production process modeling based on indicators using
transactional software, industrial automation and MES

Palavras-chave em Inglês: Real-time scheduling, Software

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos

Titulação: Doutor em Engenharia Química

Banca examinadora: Carlos Vaz Rossell, Fuad Gattaz Sobrinho, Otavio Cavalett, Oscar
Ivan Palma Pacheco

Data da defesa: 31/10/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Química

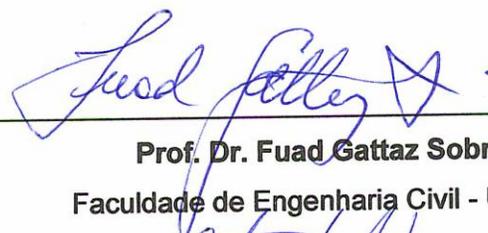
Tese de Doutorado defendida por Encarnação de Lourdes Bassoli Andreo Gonçalves e aprovada em 31 de Outubro de 2011 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



Prof. Dr. Rubens Maciel Filho - Orientador
Faculdade de Engenharia Química - UNICAMP



Prof. Dr. Carlos Vaz Rossell
Centro de Tecnologia Brasileiro de Etanol - CTBE



Prof. Dr. Fuad Gattaz Sobrinho
Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP



Prof. Dr. Otavio Cavalett
Centro de Tecnologia Brasileiro de Etanol - CTBE



Prof. Dr. Oscar Ivan Palma Pacheco
Faculdade Adventista de Hortolândia - FAECH

Este exemplar corresponde à versão final da Tese de Doutorado em Engenharia Química.



Prof. Dr. Rubens Maciel Filho - Orientador
Faculdade de Engenharia Química - UNICAMP

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar o meu agradecimento a DEUS todo poderoso, que através de sua imensa bondade proporcionou o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rubens Maciel, pela dedicação e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu querido marido Claudio Xavier Gonçalves, pela ajuda, incentivo e motivação.

Aos meus filhos, genro e nora, Tahiana, Raul e Laura, Guilherme e Renata, pelo incentivo.

Aos meus pais, Antonio e Elia, que foram o fundamento de todo meu aprendizado.

À minha querida irmã por todo incentivo e ajuda que me proporcionou.

Ao meu querido irmão, suporte de nossa família.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Carlos Rossell, Dr. Fuad Gattaz, Dr. Otavio Cavalett e Dr. Oscar Pacheco, por aceitarem esta tarefa.

À Faculdade Adventista de Hortolândia, pelo apoio, incentivo e disponibilidade de tempo para conclusão deste trabalho.

Às empresas PROXIMA e SIEMENS pela autorização da divulgação de seus softwares, utilizados no estudo de caso.

Ao Sr. Alasmar, da empresa RAM, pela ajuda e disponibilização dos dados da automação.

Ao GRUPO TONON, pelo projeto piloto, pela autorização e disponibilização dos dados.

***“ENTREGA SEU CAMINHO AO SENHOR;
CONFIA NELE, E ELE TUDO FARÁ.”***

SALMO 37:5

RESUMO

As usinas de produção de Etanol estão apresentando necessidades relacionadas ao aumento de produtividade com redução de custos. O processo de produção de etanol necessita de ações que resolvam problemas da automação, tais como variabilidade das malhas de controle, longo tempo de operação de sistema de controle em modo manual. Apresentam problemas de sinergia entre as áreas do processo produtivo, demora na tomada de decisão e dificuldade para definir a ação a ser tomada para solução do problema.

Motivados por estes fatores e com a tecnologia de informação e da automação disponível atualmente no mercado, desenvolveu-se um modelo de processo, baseado em variáveis, com origem em diversas fontes (área agrícola, automação, administrativa, industrial), efetuando integrações destas variáveis em uma única base de dados, produção de regras de negócio com alarmes e instruções para tomada de decisões de correção ou mudança do processo produtivo.

Este modelo usa os softwares *ERP (Enterprise Resource Planning)*, transacionais, *MES (Manufacturing Execution Systems)* e automação industrial.

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica com as principais definições necessárias para o desenvolvimento e entendimento do modelo, tais como descrição dos softwares, descrição do processo de automação e descrição do processo produtivo de etanol. Apresenta o modelo proposto e um estudo de caso, onde o modelo foi aplicado em uma unidade produtora de etanol.

Palavras-chave: Indicadores, Integração, Decisão em tempo real, Softwares, *MES*, Automação industrial, Regras de negócio.

ABSTRACT

The ethanol production plants are experiencing needs related to increasing productivity while reducing costs. The ethanol production process requires actions that address problems of automation, such as variability of the control loops, long time of operation control system in manual mode. This process has problems of synergy between the areas of the production, delay in decision making and difficulty in defining the action to be taken to solve the problems.

Motivated by these factors and the information technology and automation available today, a process model has been developed based on variables, originating from various sources (agricultural area, automation, administrative, industrial), performing integrations of these variables in a single database, production of business rules with alarms and instructions for making decisions to correct or change the production process.

This model, use the software *ERP* (Enterprise Resource Planning), transactional, *MES* (Manufacturing Execution Systems) and industrial automation.

This paper presents a literature review with the main definitions needed for the development and understanding of the model, such as descriptions of the software, description of the automation process and description of the ethanol production process. Presents the proposed model and a case study, where the model was applied in an ethanol production unit.

Keywords: Indicators, Integration, Decision making in real time, Software, *MES*, Industrial Automation, Business rules.

Sumário

Lista de Figuras	xiv
Lista de Tabelas	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
1.2 OBJETIVO	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3 METODOLOGIA	20
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – PRINCIPAIS CONCEITOS E DEFINIÇÕES .	22
2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	22
2.2 <i>SCADA–STANDS FOR SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION</i>	23
2.3 <i>OPC - (OLE FOR PROCESS CONTROL)</i>	23
2.4 <i>ERP’S (ENTERPRISE RESOURCE PLANNING) OU SIGE (SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTÃO)</i>	24
2.5 AUTOMAÇÃO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE ETANOL	25
2.6 <i>MES – MANUFACTURING EXECUTIN SYSTEMS OU SISTEMAS DE EXECUÇÃO DA PRODUÇÃO</i>	27
2.7 GESTÃO DE CONHECIMENTO	29
2.8 CONCLUSÃO	30

3	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL	31
3.1	ENTRADA DE CANA	32
3.1.1	Processo de Entrada de Cana	32
3.2	EXTRAÇÃO DO CALDO	33
3.2.1	Processo da Extração do Caldo	33
3.2.1.1	Processo da Extração do Caldo - MOENDA	33
3.2.1.2	Processo da Extração do Caldo - DIFUSORES	34
3.3	TRATAMENTO DO CALDO	37
3.3.1	Processo do Tratamento do Caldo	37
3.3.1.1	Tratamento Primário	39
3.3.1.2	Processo de Sulfitação	40
3.3.1.3	Processo de Calagem	40
3.3.1.4	Processo de Aquecimento do Caldo	41
3.3.1.5	Processo de Decantação	42
3.3.1.6	Processo de Filtração	43
3.4	FERMENTAÇÃO	43
3.4.1	Fermentação Contínua Multiestágio com Reciclo e Reativação de Fermento	44
3.4.2	Fermentação em Batelada Alimentada com Reciclo e Reativação do Fermento	45
3.4.3	Tratamento do Fermento	46
3.5	DESTILAÇÃO	47
3.5.1	Aparelhos de Destilação	47
4	MODELO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL	51
4.1	CONCEITO	51
4.2	OBJETIVO	52
4.3	DESCRIÇÃO	53

<i>Sumário</i>	<i>xii</i>
4.4 PROCEDIMENTOS PARA O MODELO	58
4.4.1 Definição do Modelo	58
4.4.2 Integração	60
4.4.2.1 Definição	60
4.4.2.2 Formulação da estratégia de integração	60
4.5 DIFICULDADES	61
4.6 BENEFÍCIOS	62
4.7 APLICAÇÃO DO MODELO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL, ATRAVÉS DOS INDICADORES E DAS REGRAS DE NEGÓCIO.	62
4.7.1 Planejamento de Produção	63
4.7.2 Atividades na Área Industrial	63
4.7.3 Indicadores e Regras de Negócio	67
4.7.4 Entrada de Cana	68
4.7.4.1 Indicadores do Processo de Entrada de Cana	68
4.7.4.2 Regras de Negócio do Processo de Entrada de Cana	70
4.7.5 Extração	71
4.7.5.1 Indicadores do Processo de EXTRAÇÃO DO CALDO	71
4.7.5.2 Regras de Negócio do Processo de Extração	73
4.7.6 Tratamento do Caldo	75
4.7.6.1 Indicadores do Processo de Tratamento do Caldo	75
4.7.6.2 Regras de Negócio do Processo de Tratamento do Caldo	77
4.7.7 Fermentação	79
4.7.7.1 Indicadores do Processo de Fermentação	79
4.7.7.2 Regras de Negócio do Processo de Fermentação	80
4.7.8 Destilação	82
4.7.8.1 Indicadores do Processo de Destilação	82
4.7.8.2 Regras de Negócio do Processo de Destilação	84
5 MODELO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO – ESTUDO DE CASO	86
5.1 OBJETIVO	86

<i>Sumário</i>	<i>xiii</i>
5.2 FUNCIONALIDADES	87
5.3 PROTOTIPAGEM	88
5.4 RESULTADOS	95
6 CONCLUSÃO	97
6.1 CONCLUSÃO	97
6.2 RELEVÂNCIA	98
6.3 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
APÊNDICES	107
APÊNDICE A - Softwares Transacionais de Controle e Gestão do Processo Industrial na Produção de ETANOL	107
1. Laboratório de Sacarose.	109
2. Controle de Qualidade do Processo Produtivo – PIMS-PI	110
3. Gestão de Laboratório Industrial	115
4. Sistemas de Manutenção Industrial – PIMS-MI	116
APÊNDICE B: MES – SIMATIC IT	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1- Esquema de uso de <i>OPC</i>	24
Figura 2-2 - <i>ERP – Enterprise Resource Planning</i>	25
Figura 2-3 - Estrutura Integrada do processo automatizado. (SIEMENS, 2009)	27
Figura 2-4 - Estrutura Integrada do processo produtivo.	28
Figura 3-1 - Fluxograma simplificado do Processo Produtivo de Etanol.	31
Figura 3-2 - Extração do Caldo – Moenda.	34
Figura 3-3 - Extração do Caldo – Difusor.	36
Figura 3-4 - Calagem	41
Figura 3-5 - Tratamento do Caldo – Aquecedores	42
Figura 3-6 - Tratamento do Caldo – Decantador.	42
Figura 3-7 - Processo de Filtração	43
Figura 3-8 - Fermentação Contínua	45
Figura 3-9 - Fermentação Descontínua ou em Batelada.	46
Figura 3-10 - Aparelho de destilação para Produção de Etanol Hidratado.	48
Figura 3-11 - Aparelho de destilação para Produção de Etanol Anidro típico.	48
Figura 3-12 - Aparelho de destilação para Produção de Etanol Anidro via peneira molecular	49
Figura 4-1 - Sistemas da área Agrícola e Industrial	53
Figura 4-2 - Integração das Áreas	55
Figura 4-3 - Modelo do Processo	56
Figura 4-4 - Estratégia de otimização em uma camada. (MELO 2005).	64
Figura 4-5 - Esquema da estratégia de otimização em duas camadas. (MELO, 2005).	65

Figura 6-1 - Novo Paradigma.	99
Figura A-1 - Abrangências dos Sistemas Industriais	107
Figura A-2 - Aquisição de dados automaticamente.	109
Figura A-3 - Digitação dos dados de análises.	110
Figura A-4 - Abrangência	111
Figura A-5 - Tela de Digitação de Análise.	112
Figura A-6 – Boletim	113
Figura A-7 - Modelos de Gráficos	114
Figura A-8 – Comparativo de Indicadores	115
Figura A-9 – Abrangência da Gestão dos Laboratórios Industriais.	116
Figura A-10 - Sistema de Manutenção Industrial	117
Figura A-11 - Equipamentos	118
Figura A-12- Imagens	118
Figura A-13 – Manutenção Entressafra	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 – Relação Baumé x g/litro	38
Tabela 4-1 – Indicadores do Processo de Entrada de Cana	68
Tabela 4-2 – Indicadores do Processo de Extração do Caldo.....	71
Tabela 4-3 – Indicadores do Processo de Tratamento do Caldo	75
Tabela 4-4 – Indicadores do Processo de Fermentação	79
Tabela 4-5 – Indicadores do Processo de Destilação	82

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde julho de 1933, quando o governo Brasileiro criou o Instituto do Açúcar e do Etanol – IAA através do Decreto nº 22.789, havia um grande interesse em assegurar que o Brasil fosse pioneiro na produção de etanol como combustível. O IAA foi criado com dois objetivos:

- Assegurar o equilíbrio do mercado interno entre as safras anuais de cana e o consumo de açúcar, mediante a aplicação obrigatória de matéria-prima na produção de etanol etílico;
- Fomentar a fabricação de etanol anidro mediante a instalação de destilarias centrais nos pontos mais aconselháveis, ou auxiliando as cooperativas e sindicatos de usineiros que para tal fim se organizassem, ou os usineiros individualmente, a instalar destilarias ou melhorar suas instalações atuais.

Em 14 de novembro de 1975, foi criado, através do decreto lei nº 76.593, o Programa Nacional do Etanol - PROÁLCOOL com os seguintes objetivos:

- Expandir a produção do etanol;
- Viabilizar o uso do etanol como matéria prima para a indústria química;
- Utilizar o álcool como combustível adicionado à gasolina, substituindo parte do combustível derivado de petróleo;
- Auxiliar o setor sucroalcooleiro, com a utilização da capacidade produtiva ociosa das usinas e destilarias de cana com a produção de etanol.

Enquanto a utilização do etanol carburante (hidratado) era cada vez menor, a utilização do AEAC (considerado sem água acima de 99,3%) misturado à gasolina apresentava um aumento considerável (18%, 20%, 22%). Com a utilização de maior porcentagem do etanol anidro na gasolina o Brasil conseguiu diminuir seu índice de poluição. UNICA (2010).

Em março de 2003, foi lançado o carro Flex-Fuel, movido a etanol, gasolina ou com qualquer mistura entre os dois, iniciando uma nova onda de crescimento do setor. UNICA (2010).

Vários pontos como nova crise do petróleo no mundo, com consequente aumento de preço, maior conscientização com o planeta, relacionada a poluições, principalmente com a emissão de gases considerados como responsáveis pelo aquecimento, tornaram-se preocupação mundial e apontaram para a necessidade de avaliações quanto a produção de biocombustíveis. Estes passaram a ser seriamente considerados como parte da matriz energética e dentre eles o etanol como um combustível alternativo, em especial, para veículos leves. Em função de todos estes fatores surgiu como alternativa para o Brasil e outros países, como os Estados Unidos a produção de etanol como combustível renovável. O Brasil foi pioneiro na produção deste combustível. UNICA (2010).

Há mais de 25 anos o Brasil acredita e se empenha neste objetivo. Desenvolveu tecnologias sem precedentes no mundo. Possui mais de 28 mil postos com bombas de AEHC, UNICA (2010). Atualmente, busca-se o desenvolvimento de novas tecnologias desde a produção agrícola até a redução global dos custos de produção passando por melhorias nas etapas do processo e desenvolvimento de etanol celulósico. Este pode ser especialmente interessante fazendo uso do bagaço da cana de açúcar por estar já disponível no setor de produção. Consideração precisa ser dada para uma avaliação global das plantas de produção que envolve em muitos casos a fabricação simultânea de etanol e açúcar e a co-geração de energia elétrica que faz uso da queima do bagaço. Este aspecto reforça a necessidade de haver modelos que permitam obter as informações de processo e de ferramentas que auxiliem na tomada de decisões.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta Tese é propor um modelo de processo de produção de etanol baseado em indicadores que identifiquem as melhores práticas, com identificação dos riscos e ações para tornar o processo produtivo mais eficiente.

Para atingir este objetivo é necessário efetuar a integração das informações (visualização comum de todos os dados críticos operacionais e de negócios) das diversas áreas do processo produtivo. Com este conjunto de informações integradas e relacionadas é possível efetuar um gerenciamento pró-ativo, em tempo real, em relação à capacidade produtiva de cada operação, através de uma modelagem linguística, com regras gráficas que contêmham informações do negócio (aqui referenciado como o processo global integrado desde o recebimento da cana até a saída do produto, cooperativamente conhecido como a inteligência da atividade) permitindo disparar alarmes ou ações corretivas automáticas.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta Tese são:

- Apresentar, de forma resumida, porém com ênfase para tomada de decisões de negócio, o processo que envolve a produção de etanol, focando nos indicadores produzidos por esta área. Estes indicadores são os parâmetros iniciais para gestão e controle do processo produtivo do etanol.
- Apresentar uma pesquisa sobre automação no Processo de Produção de Etanol, mostrando a situação atual da automação oferecida às usinas e destilarias do Brasil e como estas podem ser utilizadas para o propósito de coleta de informação e associação com softwares de tomada de decisão.

- Apresentar os softwares existentes e suas funções que suportam o negócio do processo de produção de etanol e como eles podem ser integrados para se atingir o objetivo geral desta Tese.
- Desenvolver um Estudo de Caso onde o modelo proposto foi utilizado, mostrando os benefícios obtidos com este modelo e com procedimento proposto neste trabalho.

1.3 METODOLOGIA

É inquestionável a importância da pesquisa científica em todos os ramos da ciência. A obtenção do conhecimento científico não é simplesmente a identificação da verdade, mas um processo de interpretação e aprendizado sobre o objeto de estudo.

A metodologia adotada neste trabalho esta fundamentada no paradigma qualitativo conforme, LIMA (2003), ou seja, adotou-se um enfoque investigativo cuja preocupação principal foi o entendimento do objeto pesquisado.

Entendimento é a interpretação associada à realidade do contexto onde o objeto é aplicado. A metodologia adotada neste trabalho esta fundamentada em uma estrutura cíclica com os seguintes passos:

- Busca do artigo, livro ou qualquer tipo de publicação, a ser trabalhado;
- Estudo da aplicação em plantas reais;
- Formulação de questionamentos;
- Análise dos processos em produção;
- Interpretação e resumo da informação;
- Desenvolvimento de modelos;
- Elaboração de um registro;
- Análise da informação;

- Redação das informações efetuada
- Definição da metodologia e implementação dos procedimentos

A metodologia adotada para o Estudo de Caso segue os seguintes passos:

- Identificação do problema;
- Formulação da proposta do projeto;
- Levantamento e definições da abrangência;
- Desenvolvimento do projeto;
- Testes do projeto;
- Implantação do projeto;
- Avaliação do projeto;
- Encerramento do projeto com gestão dos conhecimentos absorvidos;
- Acompanhamento de uso do projeto.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 1 – Introdução apresenta os objetivos e um roteiro do trabalho apresentado. A Revisão Bibliográfica, que se constitui no Capítulo 2 apresenta os principais fatores teóricos que suportam a pesquisa e o estudo de caso. O Capítulo 3 apresenta uma descrição dos Processos de Produção de Etanol com o formalismo necessário para se atingir os objetivos deste trabalho. Um descritivo de cada área do processo de produção é apresentado. A descrição do modelo e uma definição dos indicadores operacionais com regras de negócio das áreas do processo de produção de etanol são apresentadas no Capítulo 4. O Estudo de Caso, onde foi aplicado o modelo e o procedimento propostos neste trabalho são conteúdos do Capítulo 5. As principais conclusões, destacando as potencialidades, limitações e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 6.

Os apêndices apresentam uma relação dos softwares e suas principais funcionalidades que suportam as operações do processo de Produção de Etanol.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – PRINCIPAIS CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A automação industrial é a utilização de um conjunto de componentes (softwares e hardwares) ligados a uma máquina ou equipamento, para que, após parametrizações, possa fazer com que a máquina ou equipamento em questão, trabalhem sem ou com pouca intervenção humana, ou seja, automaticamente.

O objetivo da automação é tornar o equipamento ou o processo automatizado o mais seguro possível em relação ao ser humano e ao próprio equipamento com aumento de produção, qualidade e melhor relação custo benefício.

Atualmente a automação é aplicável nas diversas áreas de um processo produtivo, tais como: elétrica, eletrônica, mecânica, pneumática, hidráulica. Por isto é de grande aplicação no Processo de Produção de Etanol. É importante ressaltar que todo processo automatizado necessita ser monitorado e controlado pelo ser humano.

Parte do sistema de automação o *CLP Controlador Lógico Programável*, é um componente eletrônico digital que possui uma memória programável para armazenar as instruções que automatizaram equipamentos e máquinas. As instruções podem ser lógicas, contagem e aritméticas, podem ser de sequenciamento ou temporais.

2.2 SCADA–STANDS FOR SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION

Em função da automação industrial em diversas áreas do processo produtivo, surgiram os Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados – *SCADA (Stands for Supervisory Control And Data Acquisition)*. São sistemas utilizados para monitorar e controlar os equipamentos automatizados, verificando os indicadores e seus valores de forma gráfica.

Através do constante monitoramento e dos parâmetros utilizados na configuração de um *SCADA* é possível controlar o processo produtivo com eficiência e em tempo real. O *SCADA* pode identificar defeitos e paradas dos equipamentos no momento em que ocorrerem, podendo assim, através da intervenção humana, resolver o ocorrido o mais rápido possível. Através da rápida obtenção dos dados dos instrumentos podem ser gerados alarmes e correções automáticas do processo de forma imediata e padronizada garantindo assim produtividade e segurança.

O *SCADA* utiliza um banco de dados distribuído. Atribui-se o nome de *tag* ou Ponto para cada elemento do banco de dados. O *tag* representa um único valor de dado que será monitorado e controlado pelo sistema. Os valores dos *tag* são armazenados por períodos pré-estabelecidos da forma que são obtidos ou podem ser cálculos de outros tags.

2.3 OPC - (OLE FOR PROCESS CONTROL)

OPC é um padrão industrial utilizado para interconectividade entre sistemas. Este padrão é determinado e mantido pela FUNDAÇÃO OPC: instituição que desenvolve tecnologias específicas para comunicação aplicada a interoperabilidade na automação. Seu foco são as arquiteturas de acesso a dados *online*, alarmes,

armazenamento de eventos e comandos de banco de dados independente do fabricante.

O *OPC* está fundamentado no *OLE - Objetc Linking and Embedding* e nas tecnologias *COM* e *DCOM* da Microsoft. Com estas tecnologias é possível integrar informações utilizando um ou uma rede de computadores, ligados em uma arquitetura cliente/servidor, através de aplicações mesmo que estas utilizem protocolos diferentes. A figura 2-1 representa um esquema onde se liga sistemas de tecnologias diferentes, através da *OPC*, para se obter informações de diversas fontes, apresentando-as em uma única tela.

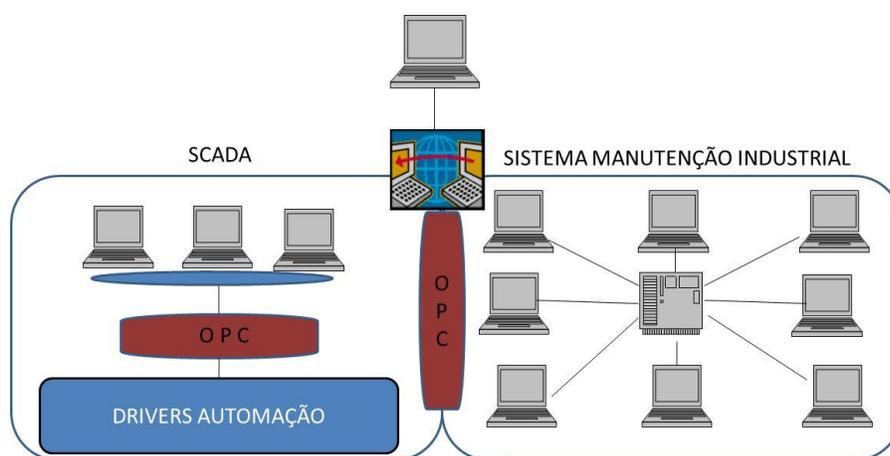


Figura 2-1- Esquema de uso de *OPC*

O esquema representa o uso da tecnologia *OPC* em uma integração com uma rede de computadores com arquitetura cliente-servidor com uma rede com software *SCADA*. Com esta tecnologia se integra os dados de ambas as redes, disponibilizando-os para serem apresentados em outro computador ou rede.

2.4 **ERP'S (ENTERPRISE RESOURCE PLANNING) OU SIGE (SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTÃO)**

ERP (Enterprise Resource Planning) ou **SIGE (Sistemas Integrados de Gestão Empresarial, no Brasil)** é um conjunto de sistemas de informação integrados com objetivo de auxiliar uma organização em todas suas etapas de

negócio. ERP é um termo genérico que representa o conjunto de sistemas de informação que o compõem.

A Figura 2-2 representa os sistemas de informação que compõem um ERP.

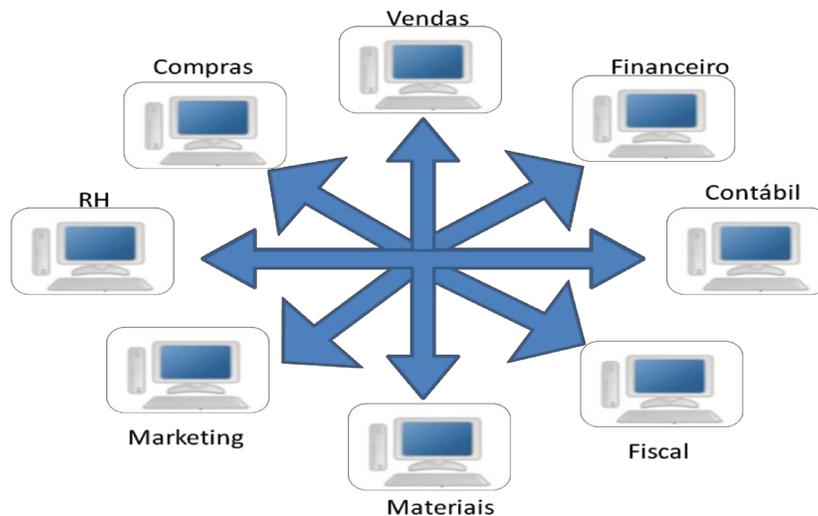


Figura 2-2 - ERP – Enterprise Resource Planning

A integração dos sistemas é o grande diferencial desta solução, sendo esta integração vista por dois ângulos. O primeiro é em relação às funcionalidades e objetivos de todos os sistemas (compras, vendas, faturamento, expedição) o segundo, está relacionado com a tecnologia. Os dados de todos os sistemas que compõem o ERP são armazenados em uma única base de dados.

O principal objetivo de um ERP é facilitar e assegurar o fluxo de informações de uma organização, eliminando duplicidade de informações. SOUZA e SACCOL (2003).

2.5 AUTOMAÇÃO DE UMA UNIDADE DE PRODUÇÃO DE ETANOL

Na década de 70 a automação nas unidades de produção de etanol estava iniciando. Utilizava ferramentas comuns do processo como recipiente para coleta

de fluidos operados manualmente e profissionais encarregados de controlar a entrada de bagaço nas caldeiras e cuidar do nível. ALASMAR (2010).

Após estes passos iniciais houve uma evolução do sistema de controle para controladores pneumáticos (os primeiros foram instalados em controle de nível de caldeiras). O sistema tinha muito para evoluir, pois as técnicas utilizadas tinham muito a evoluir e os profissionais a se capacitar.

Após a geração da instrumentação pneumática, utilizados por pouco tempo nas unidades de produção de etanol, surgiram os instrumentos eletrônicos analógicos. Além disto, a entrada dos controladores digitais coincidiu com a lei de reserva de mercado de informática que reduziu as possibilidades de compra de produtos importados e o mercado brasileiro disponibilizava poucos e bons fabricantes nacionais, ALASMAR (2010):

“Os preços dos PLC's e principalmente "DCS's" nesta época eram inviáveis, mesmo contando com fabricantes nacionais não era possível competir com os controladores micro processados, deste modo o setor investiu razoavelmente nesta época e alguns projetos foram frustrados por falta de mão de obra especializada para cuidar principalmente da instrumentação de campo. Criou-se então uma cultura de que automatizar era em parte um problema, por falta de mão de obra. Por isso são poucos os exemplos de usinas que investiram pesado nesta fase.” ALASMAR (2010).

No início de 2000 as usinas investiram em projetos de automação utilizando-se de SCADA com instrumentos analógicos. Havia poucos projetos que utilizavam instrumentação digital, RAM (2010).

Nesta época, como as anteriores, havia um grande problema, mão de obra capacitada e especializada.

Atualmente, quando da construção de novas unidades, tem-se verificado grandes investimentos em projetos de automação de ultima geração utilizando tecnologia

digital. Optou-se, então, por um projeto onde haja integração com as diversas áreas envolvidas. Para resolver o problema de mão de obra especializada foram utilizadas empresas de engenharia capacitadas e treinadas, bem como uma maior integração entre Fornecedores, Fabricantes e Consultores. ALASMAR (2010).

As usinas também investiram em profissionais especializados que representam seus interesses junto aos Fornecedores, Fabricantes e Consultores.

A Figura 2-3, apresentada a seguir, representa a automação de uma unidade de Produção de Etanol de última geração. SIEMENS (2009).

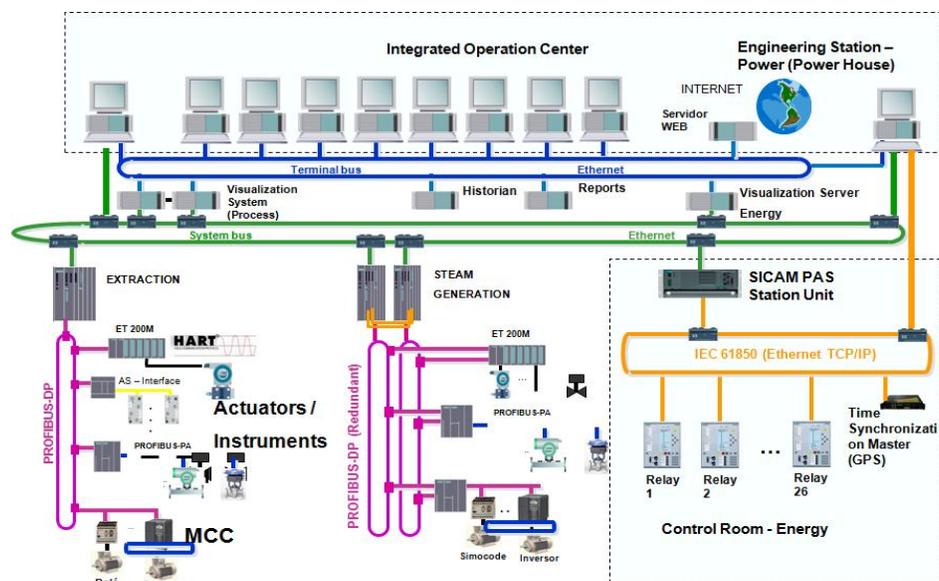


Figura 2-3 - Estrutura Integrada do processo automatizado. (SIEMENS, 2009)

2.6 MES – MANUFACTURING EXECUTIN SYSTEMS OU SISTEMAS DE EXECUÇÃO DA PRODUÇÃO

MES (Manufacturing Execution Systems) é um conjunto de tecnologia responsável pelo gerenciamento de todas as etapas do processo de produção, BARROS (2007). O objetivo geral do *MES* é transformar as estratégias de negócios em atividades de produção.

MESA é uma associação que define os padrões e tecnologias para atender os sistemas de execução da produção – *MES*.

As principais atividades esperadas quando da utilização de *MES* estão relacionadas à integração de dados entre as diversas plataformas de sistemas de informação ou de automação utilizado em um processo produtivo.

Com as atividades do *MES* espera-se ter um processo produtivo mais eficiente e eficaz com menor custo possível. Isso conduz à redução dos tempos de espera e custo de mão de obra e aumento na segurança e qualidade do processo.

A Figura 2-4 apresenta uma arquitetura de um processo produtivo, onde está inserido o *MES* integrado com as outras camadas como a automação, os sistemas transacionais e os *ERP*'s.

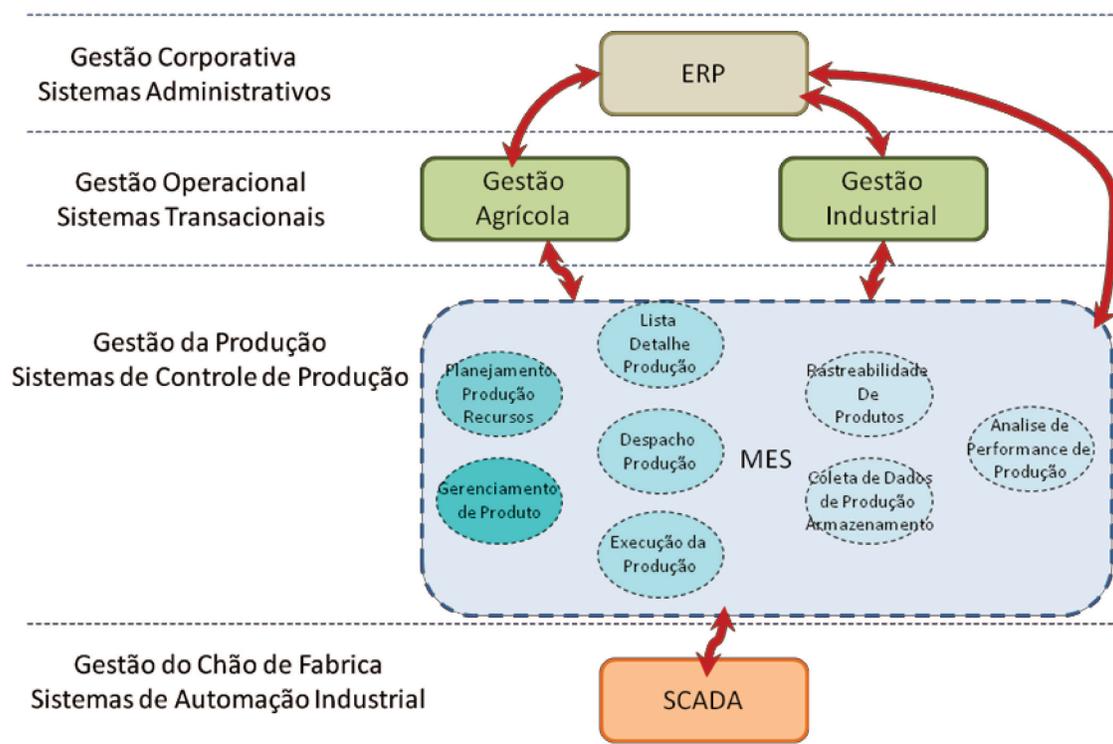


Figura 2-4 - Estrutura Integrada do processo produtivo.

Conforme apresentado na figura 2-4, os Sistemas Administrativos estão integrados com os Sistemas Transacionais. Na camada de chão de fábrica temos os *SCADA* para automação. O *MES* vem preencher a lacuna entre estas camadas, efetuando integração dos dados. Com esta integração efetua-se o controle do processo produtivo conforme as funcionalidades apresentadas nos balões da figura 2-4.

2.7 GESTÃO DE CONHECIMENTO

Atualmente é unânime a opinião de que o conhecimento dentro de uma organização é um dos seus maiores bens é um diferencial de mercado, SILVA (2008).

Com a grande evolução dos meios de comunicação o acesso às informações está cada vez mais rápido. A transformação da informação em conhecimento leva as organizações a se destacarem em seu ramo de atuação, pois transforma seu processo produtivo em algo mais eficiente e eficaz.

A gestão da obtenção, disseminação e preservação do conhecimento esta diretamente ligada ao sucesso de uma organização e deve ser inserida dentro das decisões estratégicas da organização, NASCIMENTO (2009).

Existem muitos modelos e softwares para gestão de conhecimento. As organizações que se preocupam com o custo de um conhecimento, desde sua formação e manutenção, procura sempre manter ativa e definida uma gestão de conhecimento adequada a sua realidade. A gestão de conhecimento é a responsável pela segurança das informações, projetos, documentos e tecnologias produzidas pela instituição.

No agronegócio também é percebida a necessidade de uma gestão de conhecimento pelos motivos já indicados e também para preservar investimentos efetuados em profissionais que recebem propostas de empregos constantemente em função do grande crescimento das unidades produtoras de etanol, MORAES (2008).

2.8 CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica apresentada neste capítulo apresenta conceitos e informações sobre as tecnologias existentes e que serão utilizadas neste trabalho.

Apresentou a situação atual de automação industrial que pode ser utilizada em uma unidade de produção de etanol e um modelo de implementação desta automação, SIEMENS (2009) e ALASMAR (2010).

Conceituou e informou sobre os softwares de mercado que são utilizados para gerir a unidade de produção de etanol tanto no âmbito administrativo como operacional: *ERP's*, *MES* e softwares transacionais.

Através do conceito sobre Gestão do Conhecimento, apresenta a importância de sua preservação, manutenção e segurança.

No próximo capítulo será descrito o processo de produção de etanol.

3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL

Este Capítulo apresenta um descritivo do processo industrial de produção de etanol e seus indicadores que serão base para os controles operacionais da produção.

Controles operacionais são aqueles que visam identificar desvios momentâneos em relação às condições de operação e qualidade definida para a produção do etanol. O objetivo é a correção de processo produtivo. A produção de etanol é feita a partir da cana-de-açúcar e segue o fluxograma simplificado da Figura 3-1, apresentado a seguir:

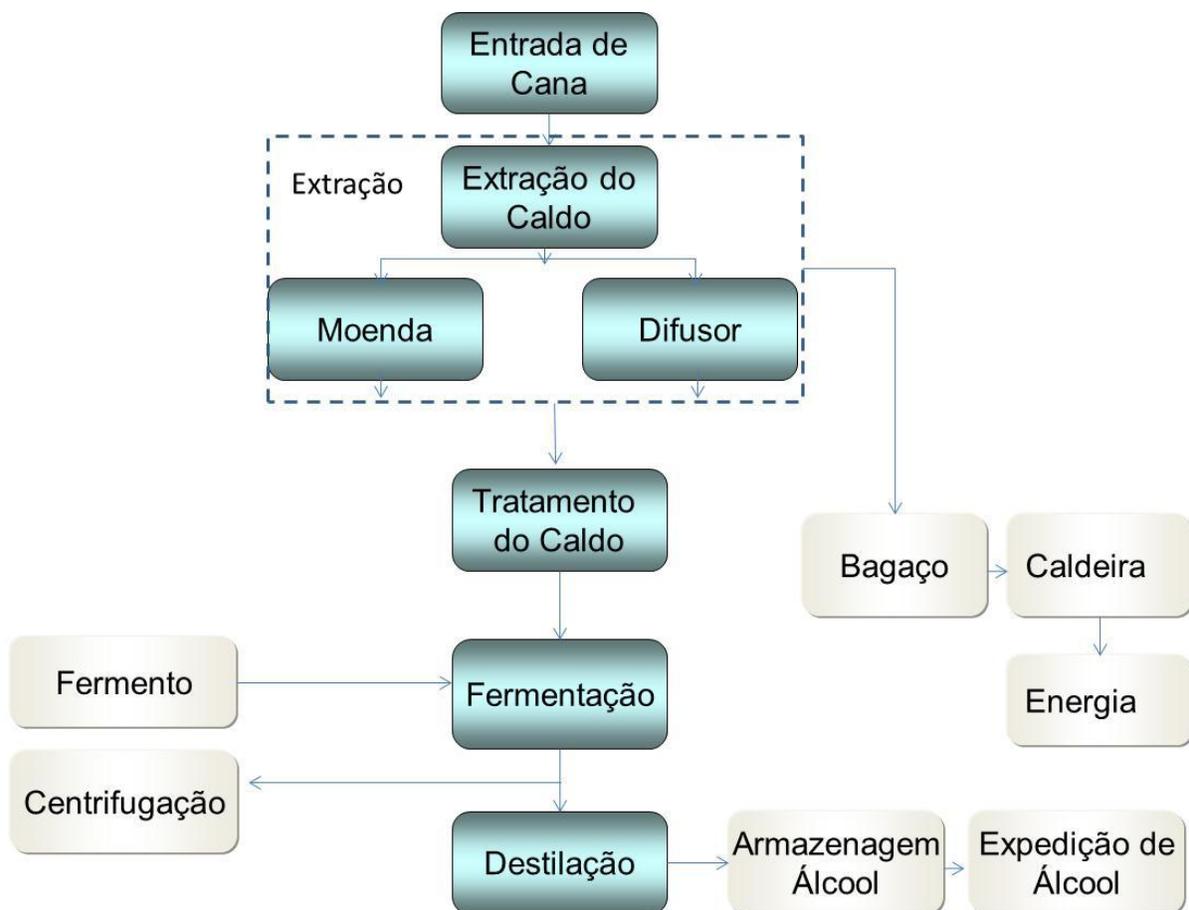


Figura 3-1 - Fluxograma simplificado do Processo Produtivo de Etanol.

3.1 ENTRADA DE CANA

3.1.1 Processo de Entrada de Cana

A entrada da cana-de-açúcar na planta de produção é o setor divisório entre a área agrícola e a área industrial de uma usina / destilaria de produção de etanol.

Durante o período da safra a usina trabalha 24 horas por dia os sete dias da semana. No período da entressafra ocorre a parada programada para manutenção.

A cana chega até a usina através de transporte rodoviário. Os caminhões são pesados com a carga total e são analisados para determinação do teor de sacarose. Para obter o peso dos caminhões são utilizadas balanças automatizadas. Quando o caminhão se posiciona em cima da balança, o peso é obtido e transmitido a um software que registra a informação.

Os softwares transacionais armazenam e fazem os cálculos necessários, em tempo real. Consolidam as informações conforme critérios das usinas, diário, semanal, quinzenal, mensal, safra e comparativos entre safras. Estes dados são originados entre os vários setores de produção, inclusive o da entrada de matéria prima, no caso a cana de açúcar.

Após a pesagem, é obtida uma amostra da cana, através de uma sonda de coleta de amostra em caminhões. Esta amostra é encaminhada para o laboratório de sacarose.

Com esta fase, ou seja, da entrada da cana de açúcar na área de produção, inicia-se o processo de controle de qualidade, com a determinação das análises de: teor de açúcares, fibra, impurezas minerais e vegetais, pol, BRIX, açúcares recuperáveis, umidade, pureza, tempo de permanência da cana no campo, CONSECANA (2006).

Através dos resultados destas análises pode-se definir a qualidade da matéria-prima, que varia em função de: variedade da cana, condições ambientais (umidade e a temperatura), estado sanitário (pragas), tempo de residência da cana na lavoura e tipo de armazenamento, ALBUQUERQUE (2009). Prever os

processos para as próximas operações com o máximo de eficiência e o menor custo e efetuar o pagamento da cana para os fornecedores está entre os objetivos e tarefas a serem executadas, em diferentes níveis de complexidade e hierarquia.

Estas informações são armazenadas pelos softwares transacionais e consolidadas em períodos de dia, semana, quinzena, mês, safra e comparativo entre safras.

3.2 EXTRAÇÃO DO CALDO

3.2.1 Processo da Extração do Caldo

A cana que chega à unidade industrial é processada o mais rapidamente possível. Os sincronismos entre corte, transporte e moagem são muito importantes, pois a cana é uma matéria prima sujeita a contaminações e conseqüentemente de fácil deterioração. A Extração pode ser feita através de Moendas ou Difusores.

3.2.1.1 Processo da Extração do Caldo - MOENDA

Em um processo com Moendas observa-se que a extração se dá tendo o caldo sendo expelido das fibras por um processo de compressão da cana em um conjunto de ternos. A capacidade destes conjuntos de ternos em receber a cana define basicamente a capacidade da moenda.

Esta seção é projetada para processar uma quantidade nominal de cana e conseqüente recuperação nominal de caldo (extração propriamente dita) por unidade de tempo; os resultados reais dependem de alguns fatores tais como: regulagem, operação e manutenção destes ternos. É interessante observar que somente pela compressão não é possível retirar todo o caldo da fibra, torna-se necessário então, adicionar água, processo denominado embebição.

O conjunto denominado Moenda é composto por um conjunto de quatro a seis ternos, a adição de água normalmente é feita no último terno e em algumas derivações verifica-se que a água é adicionada no penúltimo e último terno simultaneamente, o caldo do último terno é elemento de embebição para o terno

anterior assim sucessivamente até o segundo terno (lembrando que o primeiro terno é o que recebe a cana preparada). Após a saída do último terno o bagaço apresenta uma umidade média de 50% (algumas vezes até 51%), este bagaço é então enviado para a caldeira servindo de combustível.

Uma vez que a usina já esteja em regime normal de operação e tendo uma caldeira de alta eficiência a planta pode apresentar uma sobra de bagaço considerável que pode ser direcionado para fins de outros interesses da usina.

A Figura 3-2 representa a área Extração do Caldo - Moenda.

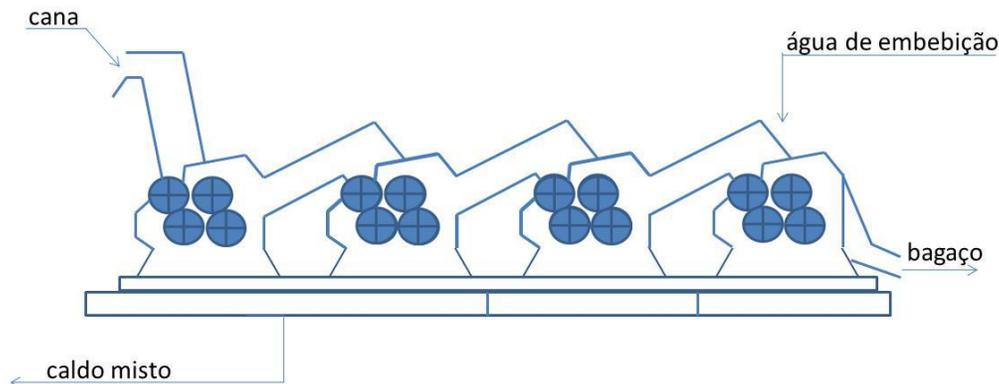


Figura 3-2 - Extração do Caldo – Moenda.

A figura representa a extração, por moenda, com a cana entrando no primeiro terno e a água de embebição sendo adicionada no último terno. Normalmente utiliza-se o caldo resultante do primeiro e segundo terno para o processo de produção de etanol. O caldo dos outros ternos é enviado para promover a embebição. PAYNE (1990) e HUGOT (1986).

3.2.1.2 Processo da Extração do Caldo - DIFUSORES

O processo de extração utilizando difusores é um processo bastante utilizado na extração de sacarose da beterraba, uma operação baseado na diferença de concentração de sacarose, onde a beterraba é cortada em fatias e colocada em

água quente. Neste processo as células de beterraba ou de cana mergulhadas em água quente ou em uma solução menos concentrada que o caldo nelas contidos cede a esta água ou a esta solução parte ou todo o açúcar contido no seu caldo, HUGOT (1986). O preparo da cana deve proporcionar que haja um deslocamento eficiente do caldo e gerar um leito compacto e de boa permeabilidade, deve-se tentar conseguir um índice de preparo em torno de 94%, PAYNE (1990), normalmente consegue-se um índice em torno de 90 a 92%.

A preparação da cana tem como objetivo deixar as células que contêm sacarose expostas para que a operação de extração (difusor ou moenda) tenha bastante êxito; quanto maior o índice de preparo, maior a extração do primeiro conjunto da moenda e conseqüente melhora de todo o tandem de moenda; para o difusor quanto maior o índice de preparo maior a extração em todo o processo.

O processo utilizando difusor ocorre, enviando a cana preparada ao difusor que adentra ao equipamento, auxiliada por um distribuidor, que tem por objetivo organizar e aperfeiçoar uma camada de cana (colchão) dentro do difusor, em torno de 1 a 2 m de camada; esta camada se desloca em contra corrente ao caldo/água até o último estágio do difusor quando então sai direcionado para o desaguamento e prensagem. Durante a passagem da cana ao longo do difusor, a camada é mantida homogênea por, geralmente, dois conjuntos de roscas denominadas roscas afofadoras. Este procedimento é importante para garantir que não haja formação de caminhos preferenciais que possam interferir e/ou modificar os gradientes de concentração ao longo do processo de extração.

A parte inferior do difusor é composta por câmaras (tremonhas) para coleta do caldo que através de uma bomba é enviado ao estágio precedente, distribuído em uma calha, adequadamente posicionado, para garantir uma boa distribuição sobre o colchão de cana que se desloca.

Toda massa que transita pelo difusor deve estar a uma temperatura adequada de modo a garantir o processo de difusão e a não proliferação de microrganismos isto é, temperatura em torno de 60º a 70º Celsius, há que se garantir um equilíbrio na temperatura de operação, não temperaturas muito altas e não temperaturas baixas, PAYNE (1990).

Para que a temperatura dentro do difusor esteja garantida, alguns cuidados devem ser tomados, tais como, garantir que a água de embebição, com vazão próxima a 35% sobre a cana, esteja a uma temperatura adequada (70° a 80° C). Se esta água não for oriunda de vapores condensados e sim de uma fonte fria, então um aquecedor para água de embebição se torna necessário.

A temperatura dentro do difusor pode ser conseguida por injetar esporadicamente vapor de modo direto. Já o caldo na região próximo da entrada de cana ao difusor pode ser aquecido por aquecedores adequadamente dimensionados e instalados sobre o difusor. Este será o caldo a ser enviada ao processo, não sem antes passar por uma peneira para retirar bagacilhos oriundos do contato do caldo com a cana recém-chegada, no contato caldo x cana na difusão.

O bagaço (megaço) que sai do difusor é enviado ao sistema de desaguamento e prensagem; esta água de prensagem, rica ainda em sacarose, é enviada novamente ao difusor e deve ser observada sua temperatura e se necessário instalar um aquecedor antes que chegue ao difusor.

O bagaço, em torno de 27% sobre o peso cana, deixa o sistema de desaguamento e prensagem com uma umidade em torno de 50 a 51% e é enviado à caldeira, tal como no processo com moenda, como já foi visto no item acima. Neste ponto se faz necessário uma avaliação das características do bagaço, principalmente quanto ao teor de açúcar remanescente, para cálculos de perdas e eficiência do processo.

A Figura 3-3 representa a área de Extração do Caldo – Difusor.

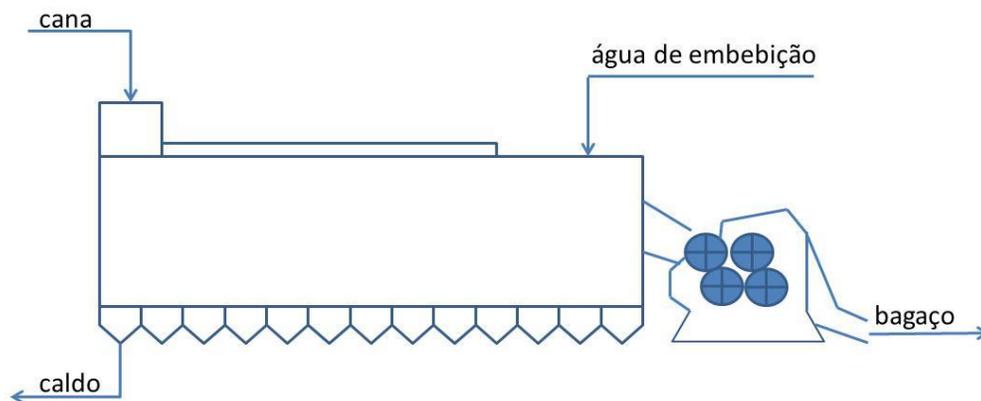


Figura 3-3 - Extração do Caldo – Difusor.

A figura representa a extração, por difusor, com a cana entrando em uma extremidade sendo arrastada, com velocidade adequada através de correntes, por toda a extensão do difusor de modo que se proporcione a extração do caldo por meio da água quente em fluxo contracorrente, adicionada a partir de um distribuidor localizado no final do difusor, antes da descarga à moenda. O caldo, para o processo é retirado nas primeiras caixas do difusor. PAYNE (1990).

3.3 TRATAMENTO DO CALDO

3.3.1 Processo do Tratamento do Caldo

O caldo oriundo de um processo de extração quer seja por moenda ou quer seja por difusor deve ser submetido a um tratamento de “limpeza” para garantir a qualidade do produto final ou também para garantir a qualidade dos processos subsequentes esta etapa é normalmente denominada como clarificação.

Este processo consiste em submeter o caldo a uma sulfitação, a uma calagem, a um aquecimento e por fim a uma decantação. Para uma planta onde o interesse se dá em produzir açúcar e etanol, deve se verificar se a linha do processo de clarificação é única até a saída do decantador ou se ela é realizada em duas linhas isto é, uma linha de caldo para produção de açúcar e outra para produção de etanol. Isto é importante saber, pois para uma produção de etanol, o tratamento do caldo não precisa ser tão rigoroso, no entanto, se mantém o processo de calagem e de decantação e cuidados de esterilização para evitar o desenvolvimento de microrganismos.

A calagem deve ser feita a uma temperatura de 60° a 65° Celsius (existem algumas variações), por isso, se o caldo vem de um sistema de moenda é interessante aquecer o caldo até esta temperatura. Após adiciona-se um leite de cal, previamente preparado, na concentração de aproximadamente 5 a 6 baumé, conforme Tabela 3.1- Relação Baumé x g/litro. Normalmente se observa um consumo de 300g de CaO por tonelada de cana processada .

Ao se adicionar o leite de cal ao caldo observa-se um aumento do pH do caldo; deve-se tomar um cuidado quanto à quantidade de cal adicionada para que este, em excesso, não provoque uma inibição da ação das leveduras no processo de fermentação. A ação da cal se dá em neutralizar alguns ácidos orgânicos presentes no caldo, formando sais insolúveis e flocos que se sedimentarão, em uma etapa de decantação, arrastando consigo alguns outros compostos (partículas em suspensão, gorduras, ceras, graxas, gomas e outros). O caldo caleado é submetido a um aquecimento até uma temperatura entre 103º a 105º Celsius para que ao ser enviado a um balão (atmosférico) provoque um *flash* eliminando gases (ar dissolvido) que poderão dificultar a sedimentação. ALBUQUERQUE (2009). Ar dissolvido e ar aderido.

Tabela 3-1 – Relação Baumé x g/litro

Baumé	g CaO / litro
1	7,5
2	16,5
3	26
5	46
7	65
10	94
15	148
20	206

Os aquecedores utilizados nesta linha de operação devem ser de modo a economizar do sistema o máximo de energia possível isto é, trabalhar com aquecedores com caldo x vinhaça (108º C), caldo x caldo decantado (96º C), caldo x caldo concentrado (115º C), e eventualmente um complemento em um trocador

caldo x vapor vegetal (115° C). Para efeito de reduzir os investimentos e procurar operações em alto desempenho recomenda-se buscar no mercado, trocadores eficientes e de fácil manutenção. O caldo *flasheado* recebe uma dosagem de polímero (agente floculante) e procura-se obter um fluxo com características lamina. Este cuidado é necessário para que, por turbulência durante o escoamento, não haja quebra dos flocos formados, quando a corrente é enviada ao decantador. A capacidade do decantador é determinada pelo tempo de retenção do caldo no equipamento, tempo este necessário para permitir uma sedimentação adequada. Trabalha-se atualmente, com muita adequação na indústria sucroalcooleira, com o decantador rápido do tipo *SRI (Sugar Research Institute, Austrália)*, com tempo aproximado de 30 a 40 minutos. Do decantador têm-se duas correntes básicas, o lodo, uma corrente de vazão em torno de 6 a 7% da vazão de entrada ao decantador e o caldo clarificado. Como o lodo pode conter uma quantidade significativa de açúcar é importante submetê-lo a um processo de recuperação, filtros rotativos a vácuo e/ou prensa desaguadora. Hoje para plantas operando com difusor o lodo pode ser enviado ao difusor para o esgotamento, gerando assim uma economia em não implantar todo um sistema de filtração (equipamento de filtração – transporte de torta – operação) com algumas críticas de que acarretará um aumento de cinzas na caldeira em decorrência de o bagaço ter funcionado como filtro e apresentando um ponto a menos de perda de açúcar através da torta.

Para um melhor entendimento dos vários processos internos ao tratamento de caldo, apresenta-se abaixo um descritivo de cada uma das etapas.

3.3.1.1 Tratamento Primário

O tratamento primário é o processo de limpeza das impurezas insolúveis, que consiste em eliminar o máximo possível de areia, argila, bagacilho, etc. Este processo é composto por três faces: **Cush-cush, Peneiras e hidrociclones**.

3.3.1.2 Processo de Sulfitação

Esta operação se aplica normalmente a caldo destinado a fabricação de açúcar e é realizada em colunas de absorção, onde se aplica SO₂ (anidrido sulfuroso). O caldo entra na coluna pela parte superior através de bombeamento e desce por gravidade onde encontra o SO₂ gasoso que é aspirado por um exaustor localizado no topo do equipamento. A absorção deve chegar até a 99,5%. Seus principais objetivos são:

- Ajustar o pH
- Controlar a formação de cor;
- A formação de precipitado CaSO₃ (sulfito de cálcio), caldo caleado;
- Diminuir a viscosidade do caldo.

3.3.1.3 Processo de Calagem

O processo de calagem constitui na adição do leite de cal (Ca [OH]₂) ao caldo, com o objetivo de elevar o pH para atingir a faixa em 6,8 a 7,2. Este processo é efetuado em tanques, e pode ser através de processo contínuo ou descontínuo, pode ser também por misturadores estáticos na própria linha de caldo.

A produção do leite de cal pode ocorrer na usina através da queima de cal CaO em tanques apropriados, onde observa-se a reação: **CaO + H₂O -> Ca (OH)₂ + calor**. A Figura 3-4 representa sucintamente o processo de calagem contínuo, onde se observa o caldo entrando em contato com a cal no primeiro tanque, e tanques posteriores para maturação (tempo de reação).

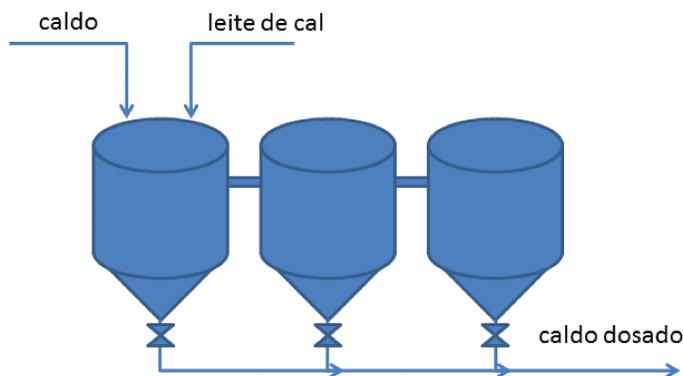


Figura 3-4 - Calagem

3.3.1.4 Processo de Aquecimento do Caldo

Para se realizar o aquecimento do caldo utilizam-se trocadores de calor a placas, tubulares e/ou por contato direto.

Os fluídos de aquecimentos podem ser vinhaça, caldos quentes e vapor, este último, de grande eficiência nos trocadores de contato direto.

A temperatura esperada para o caldo antes do balão de *flash* e decantador é de 105°C. Seus principais objetivos são:

- Acelerar e facilitar a coagulação e floculação de colóides e não açúcares proteicos;
- Acelerar o processo químico com o aumento da eficiência da decantação (emulsificar graxas e ceras);
- Possibilitar a degasagem do caldo.

A Figura 3-5 representa um esquema dos aquecedores.

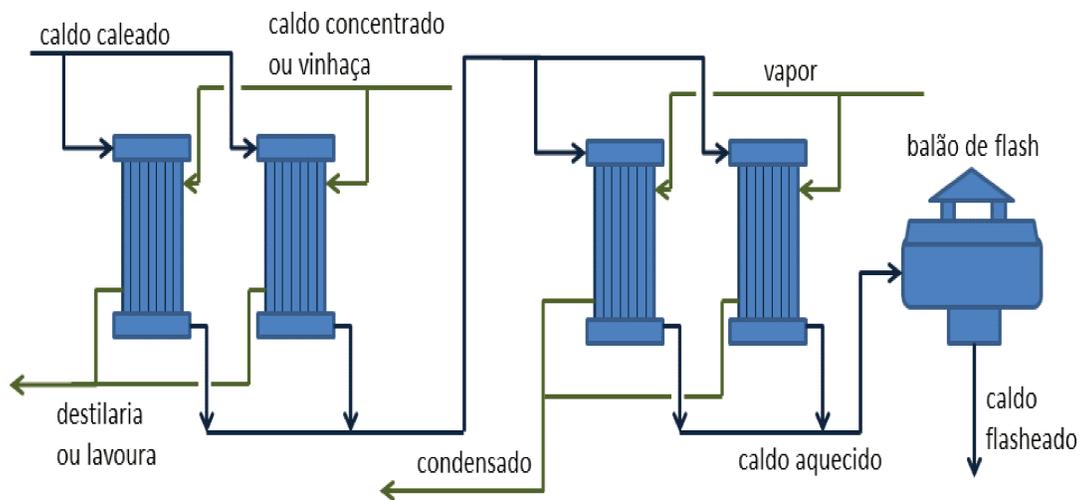


Figura 3-5 - Tratamento do Caldo – Aquecedores

3.3.1.5 Processo de Decantação

O processo de Decantação ocorre de forma contínua em equipamentos específicos para a sedimentação de impurezas. O Caldo Decantado é retido na parte superior de cada compartimento. O produto sedimentado recebe o nome de lodo e é retirado pelo fundo do equipamento para recuperação do açúcar retido nele. A duração de um processo de decantação depende dos equipamentos do processo, COPERSUCAR (2009).

A Figura 3-6 representa o decantador principal do processo de decantação.

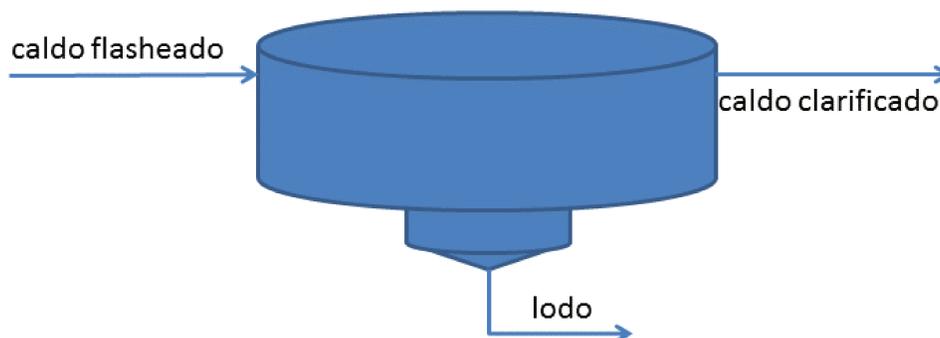


Figura 3-6 - Tratamento do Caldo – Decantador.

3.3.1.6 Processo de Filtração

A operação através de filtração tem objetivo de recuperar uma quantidade de caldo contida no lodo. É realizada através de filtros.

Desta filtração obtêm-se dois produtos, o caldo recuperado e um produto chamado torta de filtro. O caldo obtido retorna ao processo de clarificação e a torta de filtro é destinada à lavoura para auxiliar no tratamento do solo.

A Figura 3-7 representa esquematicamente o processo de filtração de lodo.

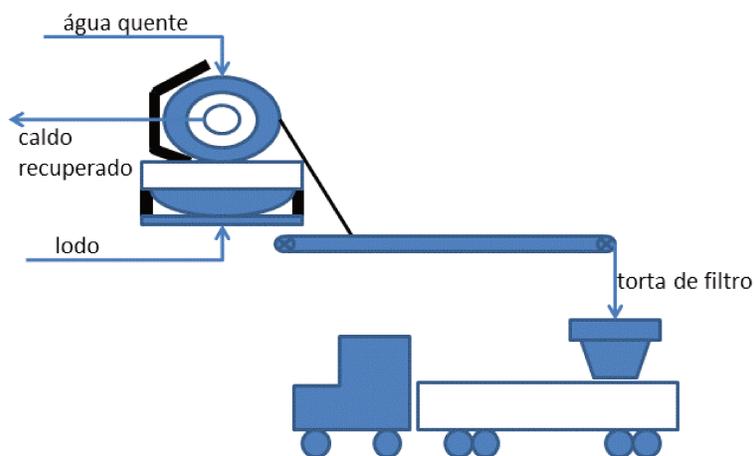


Figura 3-7 - Processo de Filtração

3.4 FERMENTAÇÃO

O caldo resultante do Tratamento do Caldo, com ou sem evaporação, é encaminhado para a secção de Fermentação, onde ocorre a transformação dos açúcares em etanol, ou seja, do açúcar em etanol. Para esta ação utiliza-se um fermento composto por uma levedura especial para fermentação alcoólica.

As leveduras são unicelulares, e se reproduzem normalmente por gemação ou brotamento. Elas são facilmente diferenciáveis das bactérias por apresentarem

dimensões maiores e por suas propriedades morfológicas. As leveduras são micro-organismos com capacidade de crescimento na ausência de oxigênio. Em anaerobiose (ausência de oxigênio) o açúcar é convertido principalmente em etanol e dióxido de Carbono (CO₂).

A multiplicação do fermento é preparada antes do início da safra e durante a safra é feito um acompanhamento e controle de qualidade em relação à população de leveduras. Estas leveduras serão introduzidas nas cubas de pré-fermentação e depois adequadamente nas dornas de fermentação, onde acontece o processo propriamente dito.

O produto desta operação é chamado de vinho que é conduzido às centrifugas para separar o vinho do levedo (leveduras). Após a centrifugação o vinho sem levedo (vinho delevedurado) é encaminhado para a destilaria e o levedo (creme ou leite) é encaminhado para as cubas onde este será tratado e retornado ao processo. Abaixo se descrevem três tipos de fermentação.

3.4.1 Fermentação Contínua Multiestágio com Reciclo e Reativação de Fermento

A fermentação contínua se constitui na forma de operação, em princípio constante e sem paradas. Assim em operação normal não estão previstas paradas, etapas de esvaziamento, limpeza e enchimento das dornas. Normalmente, para atender a demanda de produção dornas de grandes tamanhos são utilizadas. O conjunto é composto por 3 ou 4 dornas normalmente, sendo que na primeira dorna é efetuado a inserção da composição do mosto com as leveduras. O controle do sucesso da fermentação pode ser feito acompanhando-se os açúcares redutores totais.

O produto, corrente em fermentação, passa de uma dorna para outra em um processo ininterrupto até chegar à dorna final, com uma concentração baixa de açúcares, onde se considera finalizado o processo. O produto é encaminhado à centrifugação, para separação do levedo e do vinho (8 a 10º GL) e este é finalmente encaminhado para a destilação.

A Figura 3-8 representa o esquema de uma Fermentação Contínua.

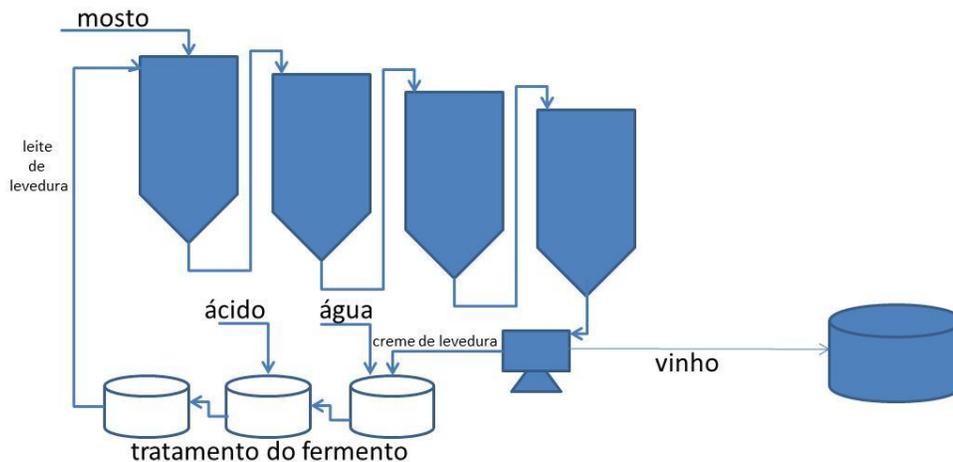


Figura 3-8 - Fermentação Contínua

3.4.2 Fermentação em Batelada Alimentada com Reciclo e Reativação do Fermento

Este processo é composto por um número maior de dornas, sendo estas de dimensões menores do que as do processo contínuo. As fermentações ocorrem em paralelo e em diversas fases para manter constante a produção e alimentação do processo de destilação.

As dornas sofrem um processo de enchimento (fermento e mosto); o mosto entra literalmente em processo de fermentação e, após o encerramento da fermentação as dornas são esvaziadas (envio do vinho para a centrifugação) e submetidas a

um processo de limpeza e assepsia, normalmente utilizando a própria flegmaça, preparando-a para a operação de outra batelada.

A Figura 3-9 representa mostra uma Unidade de Fermentação em Batelada.

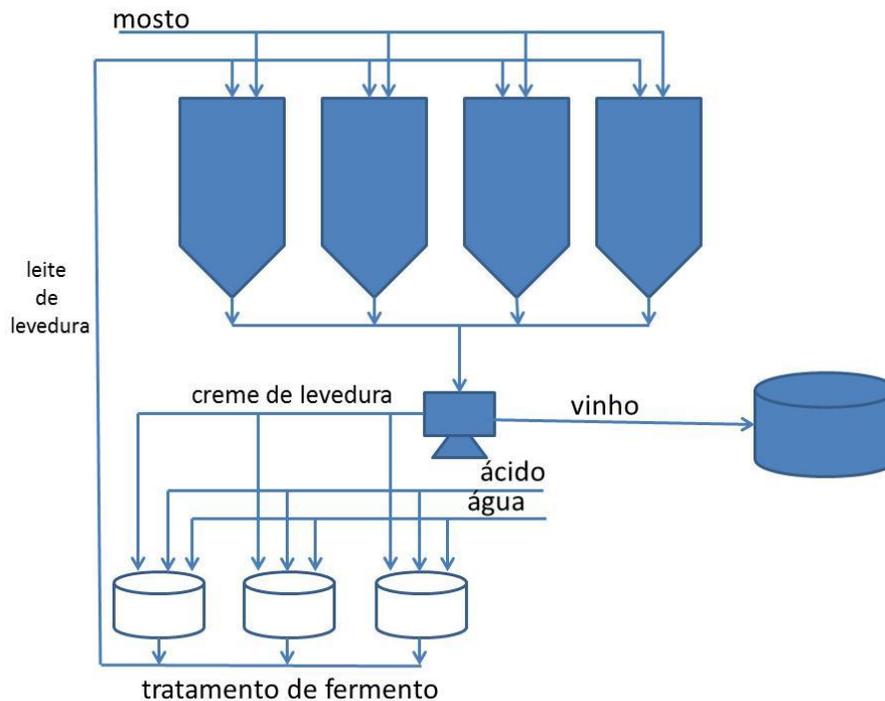


Figura 3-9 - Fermentação Descontínua ou em Batelada.

3.4.3 Tratamento do Fermento

Após o processo de fermentação e conseqüente centrifugação de onde resulta o vinho delevedurado e o creme (levedura que sai da centrifuga), é necessário efetuar um tratamento do levedo antes de retorna-lo ao processo novamente, com adição de água e ácido sulfúrico. O tratamento consiste em ajustar o levedo nas condições de qualidade necessária em relação ao pH e tratar possíveis infecções.

O tratamento do levedo consiste em diluir o "creme de levedo" e reduzir o seu pH, por exemplo, até 2,2 com ácido sulfúrico, para promover uma depuração do levedo por ataque ácido às bactérias presentes. Às vezes, é necessário reduzir

ainda mais o pH, ou aplicar penicilina ou outros agentes bactericidas, quando o nível de infecção está elevado.

3.5 DESTILAÇÃO

A área de Destilação é composta por aparelhos de destilação (colunas de destilação e/ou estação de desidratação por peneiras moleculares) e por tanques que servem como pulmões aos tanques de depósitos, que são abastecidos com a produção dos aparelhos possibilitando então a contabilidade da produção (na verdade são tanques medidores). Nestes tanques, a produção passa por controle de qualidade, antes de ser enviado aos tanques de depósitos, e se necessário são promovidos ajustes nos parâmetros do etanol, para garantir a qualidade necessária para atender a necessidade de clientes ou para atingir as especificações exigidas por lei.

3.5.1 Aparelhos de Destilação

O vinho delevedurado que vem da fermentação é encaminhado para os aparelhos de destilação, onde é produzido o "etanol hidratado" e/ou "etanol anidro". Os aparelhos de destilação são compostos por colunas, podendo ter colunas usualmente denominadas A e B para produção de etanol hidratado e colunas A, B e C, para produção de etanol anidro. Atualmente observa-se um crescimento do número de estações de desidratação por peneiras moleculares. A energia que alimenta todo este sistema de destilação normalmente é o vapor vegetal quando ligado à fabricação de açúcar ou com concentração do caldo oriundo do evaporador ou com vapor de escape que é originado nas turbinas de contrapressão.

Quando o etanol sai da primeira coluna, coluna A, apresenta uma concentração com até 53º GL; o produto de fundo da coluna A é a vinhaça que após resfriado é conduzido à lavoura, para servir como fertilizante, pois é rico em K e P (potássio e fósforo).

O produto da coluna A (denominado Flegma) é encaminhado para a coluna B na forma de vapor. Após a destilação na coluna B o etanol hidratado é obtido com 92 a 93 INPM, no topo da coluna, e como produto de fundo da coluna B tem-se a flegmaça. A Figura 3-10 representa esquematicamente o aparelho de destilação para produção de etanol hidratado.

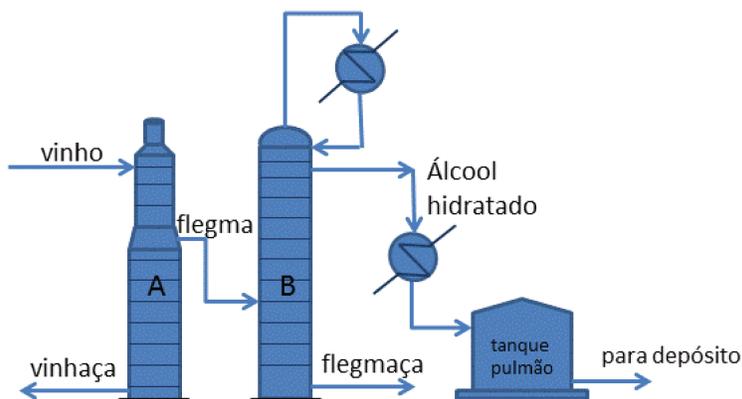


Figura 3-10 - Aparelho de destilação para Produção de Etanol Hidratado.

Quando a destilaria está preparada para produção de etanol anidro, o etanol hidratado que sai da coluna B é conduzido ao sistema de desidratação, que pode ser utilizando coluna C (caso típico) ou mais modernamente por peneiras moleculares. O etanol desidratado é produzido com uma concentração maior que 99,5 INPM. A Figura 3-11 representa aparelho de destilação para produção de etanol anidro típico.

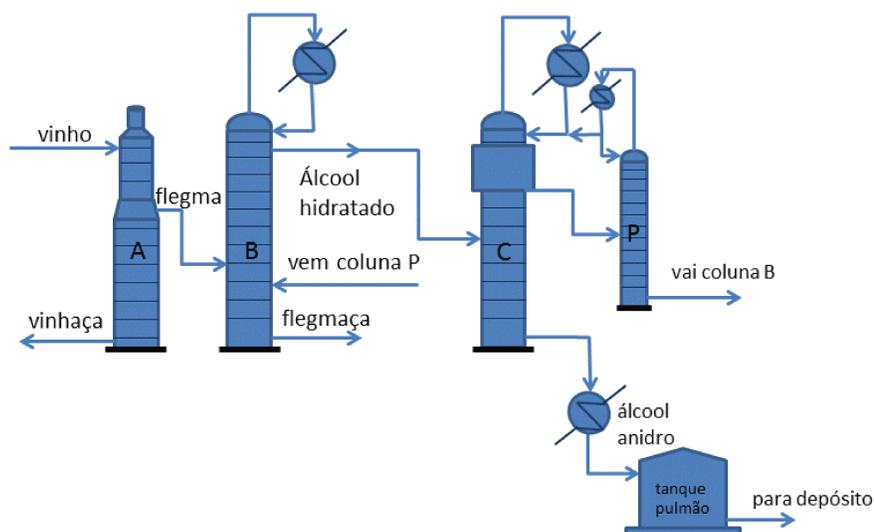


Figura 3-11 - Aparelho de destilação para Produção de Etanol Anidro típico.

A Figura 3-12 representa aparelho de destilação para produção de etanol anidro via peneira molecular.

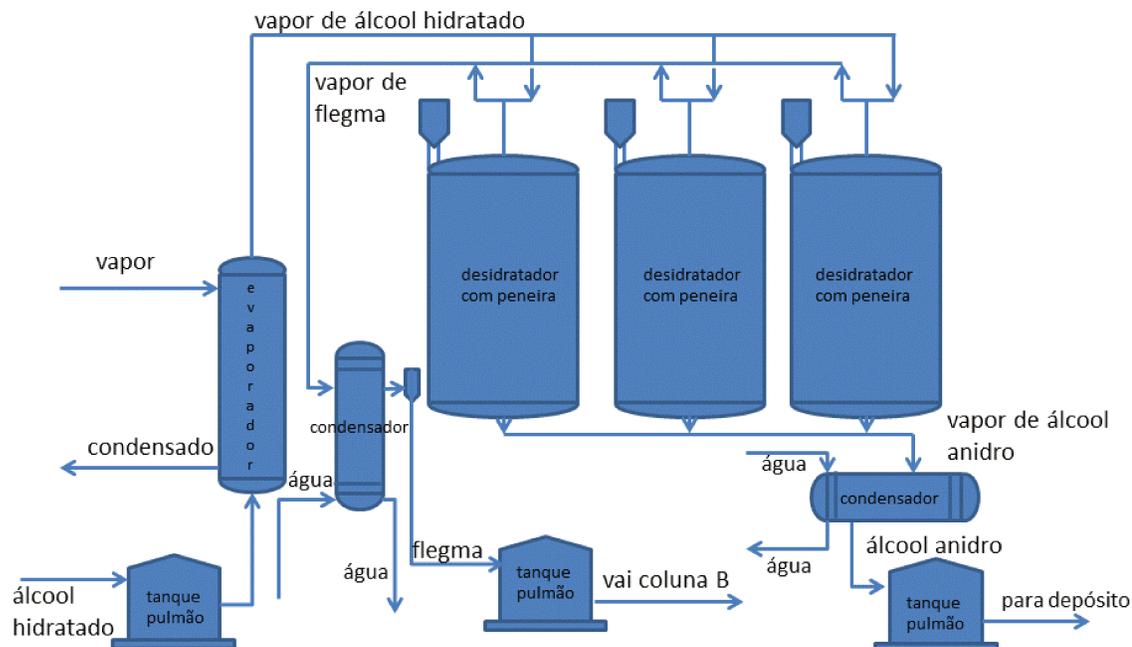


Figura 3-12 - Aparelho de destilação para Produção de Etanol Anidro via peneira molecular

O processo de desidratação via Peneiras Moleculares consiste em remover a água do etanol com graduação aproximada de 93 INPM e produzir um álcool anidro com graduação maior do que 99,5 INPM.

O processo se dá tomando o etanol hidratado que vem da coluna B e envinado-o a um evaporador, para que na forma de vapor seja submetido aos desidratadores com peneiras moleculares, as moléculas de água são absorvidas pelas resinas. Os vapores de etanol, já livre de água, continuam o fluxo, passando por um condensador e posteriormente são enviados aos tanques de depósito de etanol anidro.

Os desidratadores com zeólitas no processo de desidratação funcionam sob pressão, porém quando as zeólitas já se encontram saturadas, inverte-se a pressão nos desidratadores, submetendo-as a vácuo para que a água absorvida evapore e deixe livre as resinas para um novo processamento.

A solução que sai apresenta uma concentração de etanol aproximadamente entre 47,0 a 55,0 INPM e é encaminhada a um condensador e posteriormente para uma

coluna de retificação própria ou para a coluna B de modo a promover a recuperação do etanol nela contida.

4 MODELO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL

4.1 CONCEITO

Para acompanhamento e tomada de decisão, o processo de produção pode ser monitorado e ter suas informações acessadas através de softwares administrativos – *ERP*. Estes permitem efetuar o controle das unidades produtivas. As unidades produtivas possuem automação industrial – com software *SCADA* e softwares transacionais – controles das operações de produção dos produtos do processo, desde as operações agrícolas.

As unidades de produção precisam de definições estratégicas para sua operação, principalmente para atender a demanda com custos operacionais mais baixos. Isso implica em dizer operar as várias etapas do processo em torno da condição ótima, seguindo possíveis planejamentos de produção, independentemente da variabilidade de matéria prima.

As áreas que compõem o processo de produção de etanol possuem variáveis operacionais que indicam a posição e situação da produção. Algumas destas variáveis podem ser monitoradas *on-line*, outras *in-line* e algumas não podem ser observadas em tempo real, pois precisam de análises de laboratórios.

Suportado por estas considerações, o modelo proposto e apresentado neste trabalho é um modelo que utiliza as variáveis do processo de produção de etanol de forma integrada, utilizando o software *MES (Manufacturing Execution Systems)* como integrador de todas as informações identificadas nos softwares de automação, *ERP* e transacionais, criando um modelo proativo e integrado em tempo real, com sinergias entre as áreas.

Baseado nestas integrações, o modelo é composto por REGRAS DE NEGÓCIOS, que são condicionais e relacionamento entre os indicadores do processo para indicar uma ação a ser tomada, seja através de alarmes, e-mails ou mensagens em celulares. Este evento pode ser um texto indicando passo a passo a ação a

ser executado ou um evento para a automação, como por exemplo, abrir e fechar uma válvula automaticamente. Este conjunto de informações pode ser gerado de varias formas, mas operações industriais mais avançadas tendem a fazer uso do conceito de integração em tempo real e técnicas de otimização. Integração em tempo real significa o acoplamento de controladores em diferentes níveis hierárquicos com o planejamento de produção obtido por algoritmos de otimização que podem ser executados off-line ou em tempo real.

Este trabalho apresenta um modelo, para processo de produção de etanol de primeira geração, com alguns indicadores, pontos de automação e regras de negócio. Porém o modelo pode ser aplicado para produção de etanol de segunda e terceira geração, com a utilização de suas respectivas variáveis operacionais e seus pontos de automação. Para estes cenários é necessária a construção de regras.

4.2 OBJETIVO

Com a integração das informações das diversas áreas (visualização comum de todos os dados críticos operacionais e de negócios, de diferentes fontes, através de toda corporação) é possível efetuar gerenciamento Proativo, em tempo real em relação às metas do negócio, utilizando-se de regras gráficas operacionais, que contêm a inteligência do negócio, permitindo disparar alarmes ou ações corretivas automáticas. Negócio pode ser visto como as metas estabelecidas pelo planejamento global de operação em um nível hierárquico superior (nível de gerenciamento) que impõe restrições e obrigações para as malhas dos níveis hierárquicos inferiores (etapas de operação do processo).

O modelo é uma ferramenta que se propõe a resolver a dificuldade de gerenciar, em tempo real todas as etapas de processo da planta e mesmo interação entre as plantas, onde vários eventos podem acontecer ao longo das operações, como a falta de matéria-prima, mudança na qualidade da matéria-prima, quebra de equipamentos no campo ou na indústria e problemas de qualidade nos materiais

em processo ou nos produtos fabricados, entre outros. Com isso, a capacidade de resposta a esses eventos torna-se de extrema importância.

4.3 DESCRIÇÃO

Nos últimos anos as tecnologias de produção, operações e automação, foram desenvolvidas para fornecerem procedimentos visando atenderem as necessidades de áreas operacionais.

As empresas do setor sucroalcooleiro necessitam de tecnologias de produção específicas para setores específicos e também de tecnologia de produção e operação que fosse aplicada em cada fase de sua cadeia produtiva, desde a aquisição da matéria-prima até a expedição do produto acabado. Assim, necessitam de informações para administrar e controlar as atividades e recursos utilizados em cada um dos setores do processo produtivo também de controlar a comercialização e expedição dos seus produtos e subprodutos.

Um conjunto de sistemas de informações surgiu para atender a todas estas funcionalidades e muitas Usinas já o possuem, porém operam de forma isolada. Estes se constituem nos sistemas transacionais de controle agrícola e industrial. Estes softwares estão apresentados no apêndice deste trabalho.

A Figura 4-1 representa os sistemas da área Agrícola e da área Industrial.

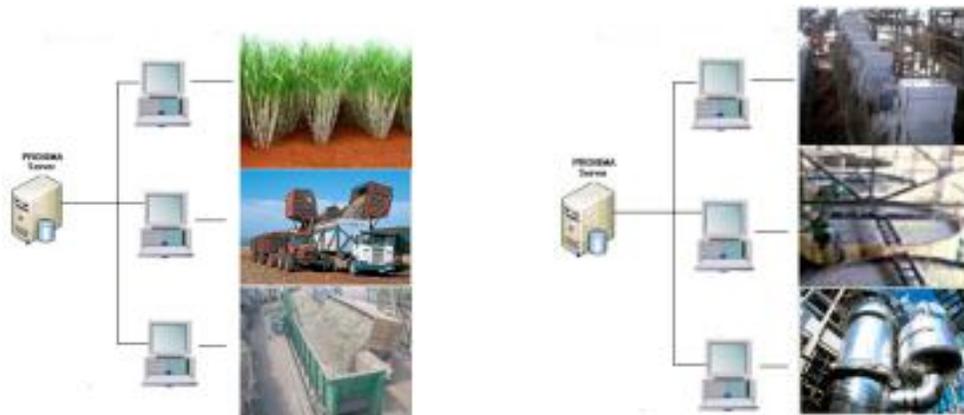


Figura 4-1 - Sistemas da área Agrícola e Industrial

A figura 4-1 apresenta redes, com arquiteturas cliente-servidor para operarem Sistemas de Gestão Agrícola e Sistemas de Gestão Industrial. Os sistemas da operação agrícola iniciam no planejamento da plantação de cana e finalizam com a entrega da cana para a área agrícola, passando por cuidados de plantio, colheita, corte, carregamento e transporte, controle de pragas, operações agrícolas, controle dos maquinários e caminhões utilizados (Apêndice A). Os sistemas da operação industrial iniciam com a entrada da cana na indústria, tendo como setor de divisão entre agrícola e indústria o laboratório de sacarose, e finaliza com a expedição dos produtos e sub-produtos, passando pela operação e controle das áreas do processo produtivo, como exemplo, moenda, fermentação, destilação, controle de qualidade, etc. (Apêndice A).

Tecnologias de automação foram empregadas na construção das novas unidades e agora intensificam investimentos nas unidades existentes para potencializar a produção.

Como decorrência da integração entre as atividades pode-se ter mudanças significativas na forma como o processo é operado e como a atividade global é conduzida:

- Unificação de unidades produtoras.
- Necessidade de gerenciamento de varias plantas.
- Construção de novas unidades.
- Distancia entre as unidades.
- Modernização na construção de novas unidades produtoras.
- Aumento significativo na automação, em todos os setores.
- Necessidade de mão-de-obra qualificada.
- Urgência em documentar e preservar o conhecimento existente na planta.

A gestão passa agora a ter urgência de dados que contenham informações consolidadas das diversas unidades do grupo, para tomada de decisões eficientes e eficazes.

O grande desafio hoje é compilar as informações que estão espalhadas nas várias áreas do processo produtivo em regras de negócio (ou melhor, de produção), ou seja, transformá-las em conhecimento, utilizando-se de tecnologias que possam integrar todas as áreas e que permitam que estas regras sejam definidas por processo independentemente da camada ou área que esta informação esteja disponível. Assim é necessária a integração de informações dos diversos setores, de forma que a combinação desta integração produza tomada de decisão.

Para atender as necessidades das Usinas é necessário integrar todas as áreas como demonstra o esquema apresentado na Figura 4-2, que representa a integração das áreas.



Figura 4-2 - Integração das Áreas

A integração dos sistemas existentes com toda a automação industrial é feita utilizando o software de controle de produção, *MES*. Este software efetua a integração e disponibiliza a utilização de regras gráficas que permitem coordenar as operações realizadas no dia-a-dia, de forma a reagir em tempo real a eventos que ocorrem na planta e não mais através de boletins diários revisados apenas uma vez por período.

As regras ou o conhecimento de operação são armazenados em um fluxo gráfico como “Lógica de Negócios” para ser executado e reagir a um evento particular da Planta.

O grande diferencial é que essas regras compartilham informações provenientes das diversas fontes em tempo real, sejam elas de automação da planta, de gestão agrícola, *ERP*, laboratórios, produção e manutenção, transformando essas informações em conhecimento estratégico para tomada de decisão em tempo real.

O Conceito de Gestão inteligente através da interação da informação proveniente dos sistemas das diversas áreas de negócio está alinhado com as necessidades de controle exigidas pelo setor sucroalcooleiro, porque tratará todas as informações da produção abrangendo desde o nível estratégico até o nível de expedição do produto.

A Figura 4-3 apresenta a abrangência do modelo, ou seja, as várias etapas do setor produtivo, o conjunto de lógicas e repertório de ações.

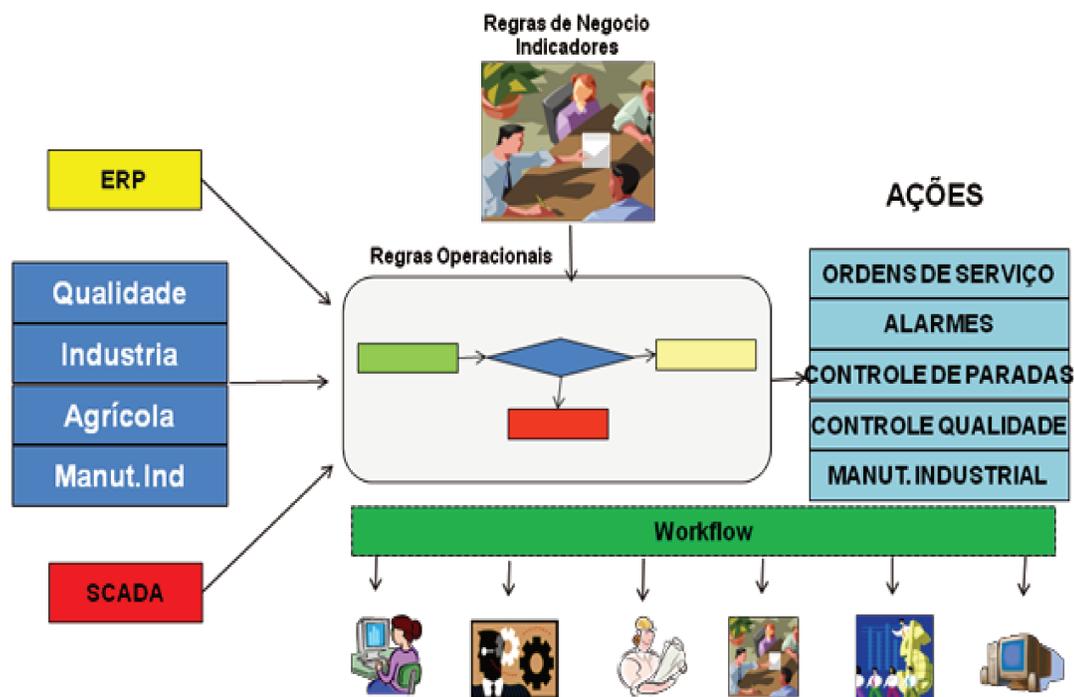
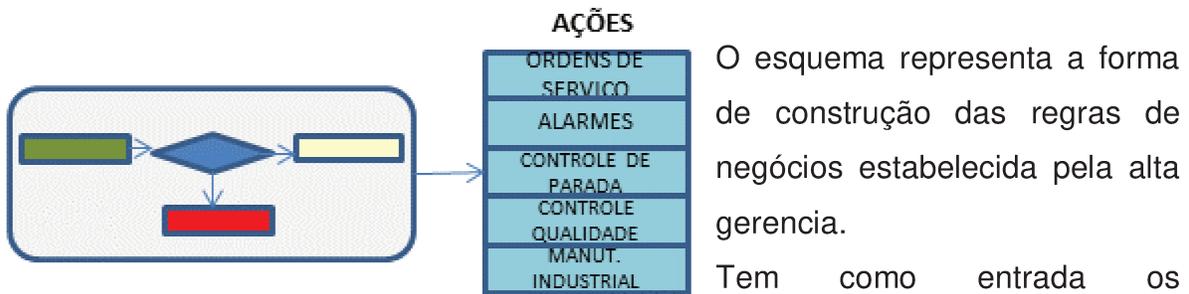


Figura 4-3 - Modelo do Processo



Regras de Negócio e Indicadores: Representam as decisões estratégicas da alta gerencia ou diretoria em relação à produção. Representa também a escolha das variáveis operacionais, ou seja, os indicadores.

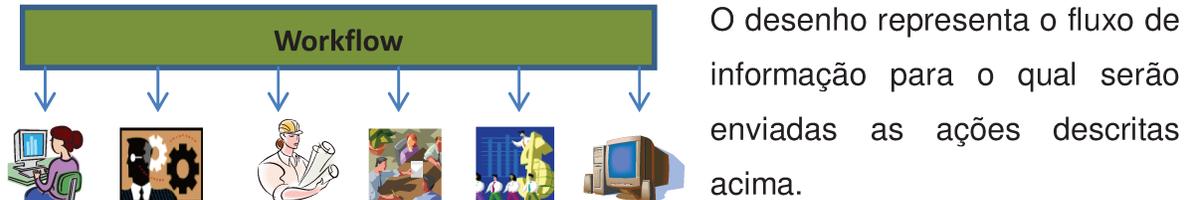
- ERP** - *ERP* - Representa os sistemas que efetuam os controles administrativos.
- Qualidade**
- Industria**
- Agrícola**
- Manut.**
- QUALIDADE, INDÚSTRIA, AGRÍCOLA E MANUTENÇÃO - Representam os sistemas que efetuam os controles e operações das áreas agrícolas e industriais.
- SCADA** - *SCADA* - Representa os sistemas que efetuam os controles da automação.



O esquema representa a forma de construção das regras de negócios estabelecida pela alta gerencia.

Tem como entrada os indicadores integrados, com origem em diversas fontes, os seja, os sistemas representados no desenho acima.

A saída são ações que podem ser alarmes, ordens de serviços automáticas para uma manutenção preventiva ou corretiva, textos com instruções de operações, textos com indicação de ações a serem executadas e e-mails ou mensagens para celulares.



O desenho representa o fluxo de informação para o qual serão enviadas as ações descritas acima.

O fluxo deve ser estabelecido para operadores, analistas de laboratório, alta gerencia e coordenação, das áreas agrícolas, automação, administração e industrial.

4.4 PROCEDIMENTOS PARA O MODELO

4.4.1 Definição do Modelo

Inicialmente deve-se fazer uma avaliação das possíveis variáveis manipuladas ao longo do processo. A próxima etapa consiste na identificação dos indicadores, que são variáveis de processo que devem ser controladas no decorrer da operação. As combinações para o controle devem ser feitas de forma a construir um caminho consistente e principal exequível. Neste ponto se determina possíveis estruturas.

Dentro deste contexto, LUYBEN et al (1997), avaliam dois procedimentos, a saber:

Controle do processamento através da vazão de produtos ou através da vazão de alimentação do componente. Qualquer uma destas abordagens pode ser aplicada de uma forma global, ou seja, considerando a planta como um todo ou considerando-se vários subsistemas, que merecem monitoramentos, avaliações e ações por impactarem no desempenho global do processo. No caso, por exemplo, tem as etapas de fermentação e separação.

Em muitas situações, procedimentos empíricos baseados em experiências anteriores ou práticas corporativas são utilizados para a tomada de decisões, porém, dificilmente estes estão próximos de soluções ótimas. A razão disso está associada com comportamento não linear e interações entre variáveis. Precisa ainda ser dito que se o processo estiver trabalhando com baixo nível de desempenho, os procedimentos empíricos podem ser suficientes o que muitas vezes leva a aceitação destas práticas como adequadas e razoáveis para todas as situações.

Para a implementação de procedimentos que façam uso de tomada de decisões apoiada em conhecimentos conciliados, através de softwares e uso de técnicas de otimização, é necessário a existência ou construção de modelos em vários níveis.

As atividades básicas para a construção do modelo são como segue:

-
- Definição ou conhecimento da Automação. É necessário conhecimento profundo da automação realizada na unidade de produção de etanol. Não importa a tecnologia existente da automação, o que é importante saber quais as informações e onde estão armazenadas, para a definição da integração;
 - Estudo rigoroso das variáveis de cada área do Processo;
 - Informações de operadores para obtenção da relevância das informações para tomada de decisões;
 - Seleção de variáveis controladas;
 - Seleção de variáveis manipuladas;
 - Seleção de variáveis medidas para objetivos de controle – estabilidade;
 - Seleção da configuração de controle. É importante ter bem definido o escopo sobre o controle que o modelo irá abranger, para então avaliar as informações necessárias para atingi-lo;
 - Definição dos softwares. Não é relevante o fornecer do software de controles operacionais bem como os *ERP's*, porem é imprescindível à existência de softwares para estas atividades, pois serão fontes das variáveis operacionais e das variáveis de controle das ações administrativas, tais como, estoque, expedição, custos etc.;
 - Integração das variáveis selecionadas e dos pontos de automação;
 - Uso de Ferramentas Estatísticas de Análise, como Planejamento de Experimentos, Análise dos Componentes Principais, etc.;
 - Análise das relações entre as informações;
 - Definição das regras de negócio;
 - Projeto de um fluxo de informação com definição de papéis e responsabilidades dos envolvidos;
 - Construção de um portal web, para alojar as telas e relatórios do modelo;
 - Definição e construção de um layout de telas para apresentação das informações e alarmes;
 - Definição de uma banda de internet para utilização do portal construído;
 - Testes do modelo;
 - Início de operação do modelo.

4.4.2 Integração

4.4.2.1 Definição

A integração pode ser definida como o conjunto de ferramentas de modelagem matemática, técnicas numéricas de solução, otimização e controle, e sistemas de informações atuando de forma coordenada e integrada que permitem a operação ótima e controlada de plantas, atendendo a planejamento de produção e demandas variadas de mercado, MACIEL Filho, ODLOAK e WOLF Maciel (2008), MELO et. al. (2005,2010), HASAN et. al. (2005).

A integração efetuada neste trabalho foi realizada com o uso de um banco de dados, onde foram armazenadas informações da fonte de origem dos dados:

- Nome do dado
- Tamanho
- Tipo
- Local de coleta.

4.4.2.2 Formulação da estratégia de integração

- É imprescindível a existência de modelos estáticos, e dinâmicos de processos;
- É fundamental também a existência de um de fluxo de informação de toda a operação;
- Necessário o estabelecimento de formas de integração com regras de negócio para tomada de decisões, pois apesar da integração por si só ser de muita relevância, a manipulação da informação integrada correlacionada a outras informações produzem gestão com visão abrangente refletindo a real situação do processo.

4.5 DIFICULDADES

As principais dificuldades encontradas para a aplicação do modelo são:

- As variáveis a serem controladas, que possam representar significativamente à tomada de decisões em tempo real, não são tão claras ou facilmente identificadas;
- Decisões de controle locais, feitas dentro do conceito de unidades isoladas, podem ter efeitos de longo alcance em toda a planta;
- O tamanho do problema de controle para um processo completo é muito maior do que quando se considera um equipamento isolado, de tal forma que a solução é muito mais complexa;
- Definição de um roteiro de processo otimizado com determinação de tempo de cada etapa;
- Controle de um processo contendo vários equipamentos possui algumas dificuldades que não são encontradas quando se considera equipamentos isolados;
- Definição da função objetivo e das restrições operacionais e econômicas
- Definição da estrutura hierárquica de controle;
- Procedimento para a obtenção da solução numérica do problema;
- Sintonia do problema de controle e sua implementação com a estratégia de integração;
- Necessidades de informações de todo o processo e gerenciamento do fluxo de informações;
- Estabelecimento das relações entre as informações com ações para melhoria ou correção do processo;
- Definição de regras de negócio que relacionem informações para tomada de decisões significativas;
- Aceitação do modelo como ferramenta para controle e inspeção das ações de operação, supervisão e gerenciamento do processo;
- Estabelecimento de ações de inspeção em relação a efetiva tomada das ações indicadas.

4.6 BENEFÍCIOS

Os principais benefícios obtidos com a Gestão Inteligente são:

- Agilidade na tomada de decisão;
- Preservação do conhecimento;
- Disponibilização da Informação em tempo real;
- Disponibilização da Informação em qualquer local;
- Estabelecimento de um roteiro ótimo de produção com um eficiente fluxo de informação;
- Definição de papéis e responsabilidades para tomada de ações em caso de correção ou mudança de processo;
- Controle efetivo da tomada de ações para correção e mudança de processo;
- Controle dos custos de produção em cada etapa do processo produtivo;
- Alcance e manutenção de melhores índices de desempenho;
- Transparência e confiabilidade nas informações geradas;
- Redução do tempo de apuração dos custos;
- Minimização de riscos de perdas;
- Maximização do aproveitamento da capacidade produtiva;
- Informação de uma única fonte;
- Melhor relacionamento entre as áreas do processo produtivo, principalmente a área de automação que passa a pertencer ao grupo geral;
- Definição de um portal de sistemas único para as áreas do processo produtivo;
- Segurança na tomada de decisão.

4.7 APLICAÇÃO DO MODELO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL, ATRAVES DOS INDICADORES E DAS REGRAS DE NEGÓCIO.

Quanto à proposição de hierarquização das informações e tomada de decisão, propõe-se o seguinte procedimentos:

4.7.1 Planejamento de Produção

O planejamento de produção é proposto como sendo de nível hierárquico superior com informações impostas por contratos e demandas que são tratadas em um programa de otimização do tipo Programação Mistas Inteiras por serem muitas as variáveis discretas. O planejamento de produção gera um perfil de produção dos produtos (etanol, açúcar, eletricidade e outros possíveis produtos) que são passados para a área industrial para programação de produção e de distribuição. As restrições devem ser incorporadas no problema de otimização, entre elas a capacidade instalada da área industrial e área agrícola e possíveis oscilações na qualidade da matéria prima, GUILLEN-GOSALBEZ et. all. (2009); YOU et. all. (2009) e TARHAN (2009).

4.7.2 Atividades na Área Industrial

A matéria prima (cana de açúcar) deve atender as necessidades impostas pelo planejamento de produção e ao mesmo tempo é um dos *inputs* (entrada) na programação de atividades da área industrial. Os *outputs* da área industrial são os produtos, considerando-se a planta global. No entanto, neste trabalho é proposta a divisão da planta em subsistemas, procurando-se o ótimo operacional de cada subsistema que se devidamente acoplados podem levar ao processo global a trabalhar próximo do ótimo ou sub-ótimo. Do ponto de vista operacional, a planta de produção de etanol, tomando-se como exemplo uma planta anexa a produção de açúcar pode ser subdividida nos seguintes subsistemas:

- Extração do caldo para produção de açúcar e etanol
- Adequação do bagaço para geração de energia elétrica e vapor
- Tratamento do caldo para produção de açúcar e etanol
- Filtração
- Concentração do Caldo
- Cristalização

- Fermentação
- Unidades de Separação e Purificação para obtenção de etanol hidratado e anidro
- Unidade de geração de vapor
- Unidade de geração de energia elétrica

Para a definição do tipo de procedimento de operação e otimização que podem ser empregados nas varias etapas ou subsistemas deve-se levar em conta dois tipos possíveis de estratégias, a saber, MELO (2005):

-Estrutura em uma camada para a integração otimizador/controlador, no qual o problema de otimização considera de forma simultânea (na mesma formulação matemática) o controlador. A Figura 4-4 ilustra esta abordagem que necessita de modelos rigorosos, mas ao mesmo tempo em que possam ser resolvidos em tempo real juntamente com o controlador. Sistemas de segurança para possíveis problemas de convergência devem ser considerados como discutido em, TREMONDI (2003). Deve ser observado que entre as variáveis, que são inputs do processo, estão as demandas de produção.

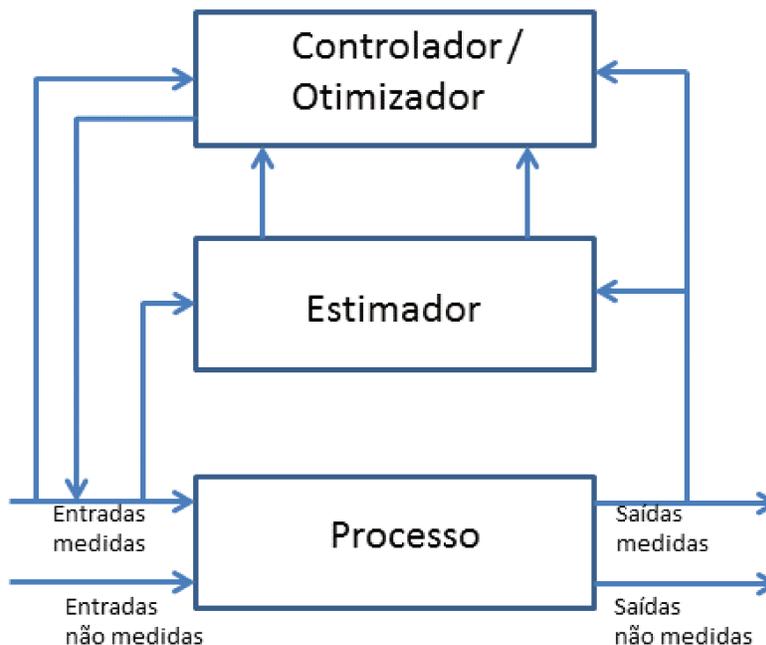


Figura 4-4 - Estratégia de otimização em uma camada. (MELO 2005).

-Estrutura de integração em duas camadas, mostrada esquematicamente na Figura 4-5, onde problema de otimização é resolvido de forma separada do controlador. Nesta situação, a solução do problema de otimização prove os valores de referência (“*set points*”), que o processo, no caso subsistema, deve seguir. Esta tarefa é realizada através de um controlador. Como mudanças de *set-point* podem ocorrer recomenda-se o uso de controladores avançados do tipo auto ajustável. Segundo, TVRZSKÁ (1997), a estratégia apresenta melhores resultados na ausência de perturbações e quando os objetivos econômicos não tenham muita variação. Alguns exemplos desta forma de integração podem ser vistos em, ZANIN et al. (2002) e TRESMONDI (2003). Nesta forma de estrutura a função objetivo faz uso de um modelo de processo normalmente em estado estacionário.

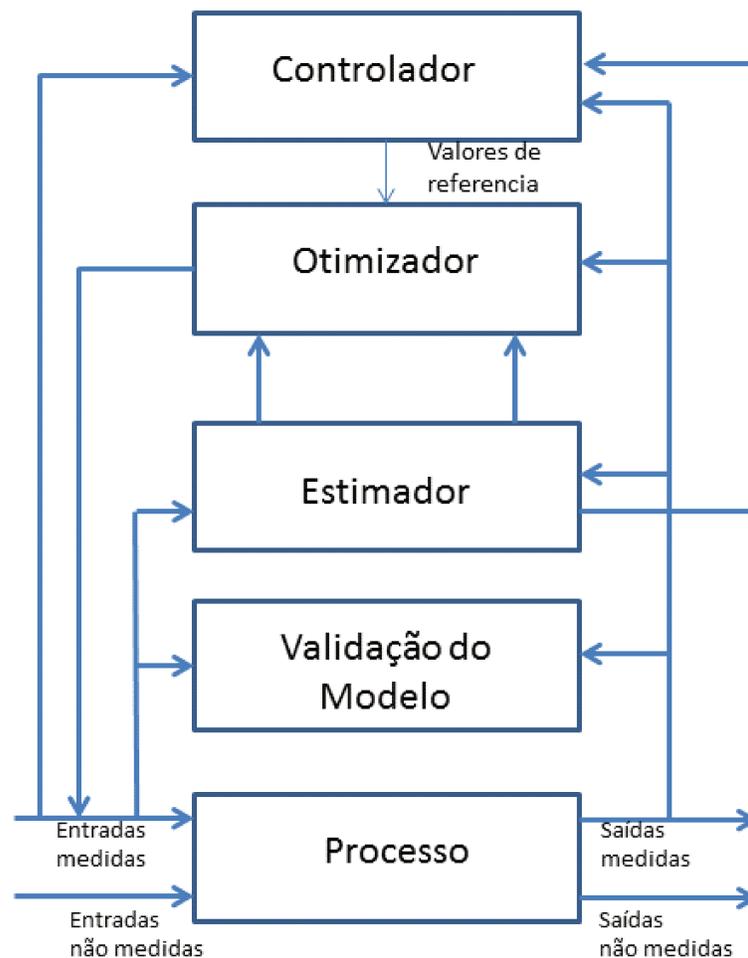


Figura 4-5 - Esquema da estratégia de otimização em duas camadas. (MELO, 2005).

Para os subsistemas acima descritos, propõe-se neste trabalho a seguinte estrutura:

- Extração do caldo para produção de açúcar e etanol – otimização em duas camadas.

- Adequação do bagaço para geração de energia elétrica e vapor- otimização em duas camadas.

- Tratamento do caldo para produção de produção de açúcar e etanol- otimização em duas camadas.

- Filtração- otimização em uma camada.

- Concentração do Caldo- otimização em uma camada.

- Cristalização- otimização em duas camadas

- Fermentação - otimização em duas camadas, devido principalmente aos relativos longos tempos de residência e dos modelos matemáticos relativos ao fermentador.

- Unidades de Separação e Purificação para obtenção de etanol hidratado e etanol anidro - para este subsistema consideração deve ser dada aos diferentes possíveis arranjos, e suas características particulares. No caso de etanol hidratado a otimização em uma camada é possível de ser implementada mesmo com controladores do tipo PID. No entanto, para sistemas de purificação baseado em destilação azeotrópica não se recomenda o uso de otimização em uma camada devido às instabilidades operacionais deste sistema que poderiam ser agravadas por possíveis problemas de convergência numérica. Mesmo para o sistema de separação extrativa recomenda-se o uso da estratégia em duas camadas e o uso de controladores avançados. Unidades de separação por peneira molecular podem ser operadas com estruturas em uma camada com bom aproveitamento e desempenho otimizando os tempos dos ciclos de adsorção e dessorção.

-Unidade de geração de vapor- operação em uma camada

-Unidade de geração de energia elétrica- operação em uma camada.

Vale a pena mencionar que em qualquer das duas estratégias o monitoramento das variáveis é essencial. Neste ponto é importante ressaltar a aplicabilidade de *soft-sensors* que permitem a inferência de variáveis em tempo real. Alguns casos de aplicação são dados nos trabalhos de, GONZAGA et. all. (2008) onde uma aplicação industrial para o monitoramento em tempo real de viscosidade é apresentada e no trabalho de, RIVERA et all. (2010 a, b).

4.7.3 Indicadores e Regras de Negócio

Os Indicadores utilizados neste trabalho são resultado de um primeiro trabalho do modelo, ou seja, se pode incluir ou definir outros indicadores. É importante salientar: o modelo, esta pronto para aceitar qualquer indicador. Os indicadores e regras apresentados neste trabalho servem como base para a própria implementação no modelo ou podem ser ampliados para contemplarem outros indicadores ou regras. Procurou-se definir os vários tipos de regras e não as mais importantes ou eficazes, para facilitar o entendimento do modelo. As regras apresentadas abrangem:

- Integração com automação para obter um indicador;
- Acionamento de *setpoint* de um sensor, como modelo para apresentar a possibilidade desta função;
- Integração com sistemas de Manutenção Industrial, abrindo uma Ordem de Serviço, tanto preventiva como corretiva.
- Integração com sistemas de Controle de Estoque para efetuar reservas, para apresentar esta função;
- Integração com sistema de Controle de Qualidade;

- Emissão de e-mail, relatórios e mensagens para celulares para diversas pessoas e celulares previamente cadastrados;
- Emissão de alarmes e *check-list* aos operadores.

Abaixo serão apresentadas tabelas com indicadores de cada área do processo de produção de etanol e as regras de negócio destas áreas, considerando as integrações das informações geradas de diversas fontes deste processo.

Para efetuar a integração dos indicadores e a definição das regras de negócio utiliza-se o software *MES (Manufacturing Execution Systems)*. O modelo foi idealizado para conter todas as regras de negócio que forem necessárias para a operação de um processo de produção. Este trabalho apresenta duas regras de negócios de cada área do processo.

4.7.4 Entrada de Cana

4.7.4.1 Indicadores do Processo de Entrada de Cana

Os indicadores do processo de Entrada de Cana, utilizados para o modelo estão representados na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Indicadores do Processo de Entrada de Cana

INDICADORES	DESCRIÇÃO
Entrada de Cana	Peso caminhão carregado – peso caminhão vazio.
Impurezas	As impurezas podem ser Minerais ou Vegetais. As impurezas vegetais são determinadas pela quantidade de folhas, raízes e ervas daninha. As impurezas minerais são determinadas pela quantidade de terra e outros componentes minerais.

BRIX	O Brix representa, proporcionalmente, a porcentagem de teor de sacarose. É a porcentagem de peso/peso de sólidos solúveis contido na solução.
Fibra	A análise da Fibra representa a quantidade de matéria insolúvel em água, contida na cana.
Pureza	A Pureza ou Pureza aparente é a quantidade de sacarose contida nos sólidos solúveis. Pode ser Pureza refratométrica quando utiliza em seu cálculo o BRIX refratométrico ou Pureza aerométrica quando utiliza o BRIX aerométrico.
Pol	A Pol indica a porcentagem de teor de sacarose contida na solução de açúcares.
Açúcares Redutores (AR)	Açúcares Redutores (AR) é um termo usado para indicar os açúcares que reduzem o cobre de cúprico para cuproso, principalmente glicose e frutose.
ART	Açúcares redutores totais é a quantidade de açúcares invertidos da amostra.
ATR	Açúcares totais recuperáveis. Utiliza-se dos indicadores Pol da Cana e Açúcares Redutores.
Umidade da Cana	Determina a umidade da cana. É determinado pela diferença de peso entre a amostra inicial e a amostra após secagem.
Período de permanência de cana do campo	Tempo desde a colheita até a chegada da cana para processamento.

4.7.4.2 Regras de Negócio do Processo de Entrada de Cana

As regras de negócio de Entrada de Cana, definida para este trabalho estão descritas abaixo:

Regra 1: TEMPO DE PERMANÊNCIA NO CAMPO:

As canas velhas provocam: inversão da sacarose do caldo; aumento do conteúdo de polissacarídeos nos caldos, principalmente a dextrana; aumento da acidez e diminuição da pureza do caldo. RIBEIRO (2003).

CONDIÇÃO: TEMPO DE PERMANENCIA NO CAMPO FOR MAIOR OU IGUAL A 100 HORAS e DEXTRANA com valor acima do limite estabelecido.

AÇÃO: Emitir e-mails e/ou mensagens para celulares, alertando a condição da material prima, com os dados do talhão que esta sendo colhido: tamanho e a variedade da cana, com a análise de dextrana e o indicador TEMPO DE PERMANECIA NO CAMPO DA CANA.

Com este alerta a área industrial poderá tomar ações para os próximos processos.

Indicadores: TEMPO DE PERMANÊNCIA NO CAMPO e DEXTRANA

Origem: área Agrícola, laboratório de Sacarose.

Fluxo de informação: Para os supervisores das áreas do processo de produção, gerente de controle de qualidade.

Regra 2: IMPUREZA:

Conforme, MAGALHÃES (2008), a redução de 1% da impureza representa aumento de moagem de 3% e causa mudanças no Brix, Fibra e Pol % da cana, ou seja, perda de sacarose. As impurezas provocam aumento nos custos industriais, no pagamento da cana ao fornecedor e nos custos dos processos operacionais. Desgaste dos equipamentos pelas impurezas minerais e perda de pol, junto com as impurezas vegetais.

CONDIÇÃO: IMPUREZAS MAIORES QUE 10%.

AÇÃO: Emitir e-mails e/ou mensagens para celulares, para a área agrícola, indicando as ações:

Para reduzir as impurezas minerais é preciso introduzir um sistema de corte com base independente e de melhor desempenho, sem aumentar as perdas.

Para reduzir as impurezas vegetais na carga transportada é necessário melhorar o sistema de limpeza das colhedoras sem aumentar as perdas. Emitir um relatório para consulta via WEB à área industrial. MAGALHÃES (2008).

Indicadores: IMPUREZA

Origem: área Agrícola, laboratório de Sacarose.

Fluxo de informação:

- 1- ÁREA AGRÍCOLA – Supervisor de corte, carregamento e transporte.
- 2- ÁREA INDUSTRIAL - Para os supervisores das áreas do processo de produção, gerente de controle de qualidade.

4.7.5 Extração

4.7.5.1 Indicadores do Processo de EXTRAÇÃO DO CALDO

Os indicadores do processo de Extração do Caldo, utilizados para o modelo estão representados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 – Indicadores do Processo de Extração do Caldo

INDICADORES	DESCRIÇÃO
<p>Controle de Paradas de extração do caldo</p>	<p>O controle de horas de paradas pode ser dividido por diversos motivos, os mais comuns são:</p> <p>Falta de Cana: indica a quantidade de tempo, durante um dia, semana, mês e safra, que se parou a extração por falta de cana da lavoura.</p> <p>Chuva: indica a quantidade de tempo, durante um dia, semana, mês e safra, que se parou a extração porque a</p>

	<p>chuva impediu a chegada de cana na indústria.</p> <p>Parada Programada: quantidade de tempo, durante um dia, semana, mês e safra, que se parou a extração em função de uma manutenção programada. Manutenção Preventiva.</p> <p>Parada não Programada: quantidade de tempo, durante um dia, semana, mês e safra, que se parou a extração porque uma manutenção não programada parou a extração. Manutenção industrial corretiva, causada por um defeito mecânico.</p>
Moagem total	É a soma de toda a cana entrada em um determinado período. Por exemplo, se moagem total correspondente à uma hora então é a somatória da CANA ENTRADA da hora estabelecida, se moagem total diária é a somatória da CANA ENTRADA do dia estabelecido.
Horas efetivas de moagem	É a quantidade de horas que a moenda ou difusor ficou em operação. O cálculo é diário e para valores semanais, mensais e safra efetua-se a somatória dos valores diários.
Tonelada de ART por hora efetiva	É a quantidade de ART, em tonelada, dividido pelas horas efetivas de moagem.
Tonelada de FIBRA por hora efetiva	É a quantidade de FIBRA, em tonelada, dividido pelas horas efetivas de moagem.
Extração pol % pol	Apresenta o cálculo da extração conforme a formula F3.13. $EM = (1 - ((POL_{BG} / FIBRA_{BG}) * (FIBRA \% CANA / POL_{CANA}))) * 100. \quad (F3.13)$
Vazão da água de lavagem de cana	É a quantidade de volume de água utilizada para lavagem de cana. Valor obtido através de sensor, automação.
ART da lavagem de cana	É a quantidade de Açúcar Redutor Total, encontrada na água da lavagem de cana.
Pol do Bagaço	A Pol indica a porcentagem de teor de sacarose contida no Bagaço.

FIBRA do Bagaço	A análise da Fibra representa a quantidade de matéria insolúvel em água, contida no Bagaço.
Umidade do Bagaço	Determina a umidade da cana. É determinado pela diferença de peso entre a amostra inicial e a amostra após secagem. A amostra é formada pelo Bagaço.
ART % Bagaço	É a porcentagem de Açúcar Redutor Total encontrado no Bagaço.
TAXA DE EMBEBIÇÃO	É a vazão da água de embebição dividida pela quantidade de cana processada. Em porcentagem.

4.7.5.2 Regras de Negócio do Processo de Extração

As regras de negócio da Extração do Caldo, definida para este trabalho estão descritas abaixo:

Regra 1: CONTROLE DE LIMPEZA DA MOENDA

A limpeza da moenda garantirá uma boa qualidade na extração do Caldo, portanto é importante o operador ter um *check-list* de ações a serem desenvolvidas para garantir uma boa limpeza.

CONDIÇÃO: CONTADOR DE TEMPO, PARA CONSIDERAR TEMPO DE QUATRO EM QUATRO HORAS.

AÇÃO: Enviar um alarme ao operador com um *check-list* de ações a serem efetuadas. Exemplo:

- Lavar as telas do *cush cush*;
- Lavar as caixa de lodo do *cush cush*;
- Leitura dos manômetros dos painéis, tubulação do vapor direto, da turbina, dos mancais, redutores, desfibradores e picadores;
- Limpeza com água quente, nos equipamentos.

Indicadores: TEMPO

Origem: Automação Industrial

Fluxo de informação: Operadores.

Regra 2: TEMPO DE UTILIZAÇÃO DE MÁQUINA, ÍNDICE DESEJADO PARA MANUTENÇÃO PREVENTIVA.

CONDIÇÃO: quando o TEMPO DE UTILIZAÇÃO DE MÁQUINA FOR IGUAL OU MAIOR QUE O ÍNDICE DESEJADO PARA MANUTENÇÃO PREVENTIVA.

AÇÃO: Efetuar uma integração com o Sistema de Manutenção Industrial, abrindo uma ordem de serviço para manutenção preventiva para o equipamento avaliado. Efetuar uma integração com o Sistema Controle de Estoque – almoxarifado, para efetuar reserva de itens necessários para a manutenção preventiva. Enviar alarme ao operador de máquina. Enviar e-mail aos supervisores industriais e da manutenção industrial.

Verificar se a máquina em questão irá causar parada de extração do caldo, caso ocorra, enviar e-mail ou mensagem para área agrícola para diminuição do fluxo de entrada de cana.

Indicadores: TEMPO DE UTILIZAÇÃO DE MÁQUINA

Origem: Automação Industrial

Fluxo de informação: Sistemas de Manutenção Industrial, Sistemas de Controle de Estoque. Supervisores da Manutenção Industrial. Gerentes de áreas com alerta de manutenção preventiva.

4.7.6 Tratamento do Caldo

4.7.6.1 Indicadores do Processo de Tratamento do Caldo

Os indicadores do processo de Tratamento do Caldo, utilizados para o modelo estão representados na Tabela 4-3.

Tabela 4-3 – Indicadores do Processo de Tratamento do Caldo

INDICADORES	DESCRIÇÃO
Temperatura na Entrada do Decantador	É o valor da temperatura medido na entrada do DECANTADOR. Este valor é obtido através de sensor.
Totalizadores de vazão do Caldo	<p>É o volume do caldo que esta passando pelo sensor. Para se obter a quantidade do caldo em um determinado período:</p> <p>Obter o valor da vazão do inicio do tempo.</p> <p>Obter o valor da vazão do fim do tempo.</p> <p>A Vazão e a diferença entre o fim do tempo e o inicio do tempo.</p> <p>Exemplo: tempo = uma hora</p> <p>Vazão da 1:00 hora (inicio) = 12345.</p> <p>Vazão das 2:00 horas (fim) – 23567</p> <p>Volume do caldo = 23567 – 12345 = 11222.</p>
Totalizadores de vazão do Lodo	É o volume do LODO que esta passando pelo sensor. Idem a vazão do caldo.
Turbidez do caldo decantador	<p>É a aparência do Caldo, se o caldo estiver turvo, na saída do decantador, vários parâmetros devem sofrer alteração. Obtido através de análise do laboratório de controle de qualidade.</p> <p>A turbidez tem varias origens, partículas</p>

	pequenas – bagacilho, sais insolúveis de cálcio e partículas de terra.
Brix do caldo decantador	O Brix representa a porcentagem de teor de sacarose. É a porcentagem de peso/peso de sólidos solúveis contido na solução.
Pol do caldo decantador	A Pol indica a porcentagem de teor de sacarose contida na solução de açúcares
Pureza do caldo decantador	A Pureza ou Pureza aparente é a quantidade de sacarose contida nos sólidos solúveis. Pode ser Pureza refratométrica quando utiliza em seu cálculo o BRIX refratométrico ou Pureza aerométrica quando utiliza o BRIX aerométrico
pH do caldo decantador	Identifica o valor do pH contido no caldo. O valor ideal do pH do caldo decantado é entre 5,6 a 7,2. Nesta faixa de valores ou estes valores como referencia o caldo tem característica ideais para manter nutrientes, redução de microrganismos contaminantes e não provocar ação corrosiva sobre os equipamentos.
Coefficiente Global de Troca Térmica	Para cálculo do COEFICIENTE GLOBAL DE TROCA TÉRMICA, serão necessários dados conforme abaixo: Vazão do caldo para etanol - automação Temperatura de entrada do conjunto de aquecedores - automação Temperatura de saída do conjunto de aquecedores - automação Delta T – é a diferença entre a temperatura de saída e a de entrada. Brix do caldo - laboratório Área = é a área definida no projeto, em m ² , multiplicada pela quantidade de aquecedores.

	<p>Temperatura do Vapor = TV. Capacidade Calorífica = CP Formulas: 1. $CP = 4,1868 * (1 - (0,6 * BRIX DO CALDO))$ 2. $Q(\text{QUANTIDADE DE CALOR}) = M(\text{VAZAO}) * CP(\text{CAPACIDADE CALORÍFICA}) * \Delta T$ 3. $\Delta T_{LN} = ((\text{TEMPERATURA DO VAPOR}(TV) - \text{TEMP SAIDA DO AQUECEDOR}) - (TV - \text{TEMP DE ENTRADA DO AQUECEDOR})) / \ln((\text{TEMPERATURA DO VAPOR}(TV) - \text{TEMP SAIDA DO AQUECEDOR}) / (TV - \text{TEMP DE ENTRADA DO AQUECEDOR}))$ $U(\text{COEFICIENTE GLOBAL}) = Q(\text{QUANTIDADE DE CALOR}) / (A * \Delta T_{LM})$ –</p>
<p>BRIX Caldo saída do decantador</p>	<p>É a porcentagem pesos / peso dos sólidos em uma solução de sacarose.</p>
<p>EFICIÊNCIA DA PRE EVAPORAÇÃO</p>	<p>Na pré-evaporação o caldo é aquecido a 115°C, evapora água e é concentrado a 20ºBrix. Esta temperatura elimina bactérias e leveduras selvagens que comprometem a fermentação.</p>

4.7.6.2 Regras de Negócio do Processo de Tratamento do Caldo

As regras de negócio do Tratamento do Caldo, definida para este trabalho estão descritas abaixo:

Regra 1: LIMPEZA NO TROCADOR – (manutenção industrial)

CONDIÇÃO: Se **Coefficiente Global de Troca Térmica** for menor que o valor estabelecido no projeto (indica uma necessidade de limpeza do trocador).

AÇÃO: Abrir uma ordem de serviço para manutenção preventiva, para limpeza do trocador.

Efetuar integração com o Sistema de Controle de Estoque – almoxarifado, para reserva de materiais necessários a limpeza do trocador.

Enviar alerta ao operador. Enviar e-mail ao supervisor de produção e de manutenção.

Indicadores: COEFICIENTE DE TROCA TÉRMICA

Origem: Automação Industrial

Fluxo de informação: Sistemas de Manutenção Industrial, Sistemas de Controle de Estoque. Supervisores da Manutenção Industrial. Gerentes de áreas com alerta de manutenção preventiva.

Regra 2: PERDAS NO LODO.

As perdas que ocorrem no processo de tratamento de caldo devem ser controladas para que mantenham em um nível mínimo. Para isto é necessário controlar a temperatura, mantendo-a acima de 71º C, e o pH deve ser mantido sempre acima de 6,0. ALBUQUERQUE (2009).

CONDIÇÃO: Quantidade de açúcar muito alta encontrada no lodo. Manter as perdas em um nível mínimo.

AÇÃO: Efetuar constante controle da temperatura do caldo. Adicionar leite de cal para impedir que o pH tenha valor abaixo de 6,0.

Efetuar integração com automação para obter a temperatura e o pH.

Enviar alarme ao operador. Enviar set point para automação para se necessário, aumentar a temperatura.

Enviar e-mail e relatórios com alarmes e instruções de adição de leite de cal para manter o pH acima de 6,0.

Indicadores: temperatura e pH.

Origem: Automação Industrial

Fluxo de informação: Supervisores e operadores da automação. Gerentes e operadores da indústria.

4.7.7 Fermentação

4.7.7.1 Indicadores do Processo de Fermentação

Os indicadores do processo de Fermentação, utilizados para o modelo estão representados na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 – Indicadores do Processo de Fermentação

INDICADORES	DESCRIÇÃO
Volume do Mosto	Indica a quantidade, em m ³ do volume que será enviado a fermentação. É o caldo com o fermento.
Brix do Mosto	É a porcentagem massa / massa dos sólidos em uma solução de sacarose do mosto.
Pol do Mosto	A Pol indica a porcentagem de teor de sacarose contida no mosto.
ART do Mosto	É a quantidade de Açúcar Redutor Total, do mosto.
pH do Mosto	Identifica o valor do pH contido no mosto.
Hora Inicio Fermentação	Indica a hora que se inicia o processo de fermentação em uma determinada dorna.
Acidez	É o valor da acidez do mosto.
Tempo Alimentação	É a quantidade de horas para encher uma dorna. Para cada dorna controla-se o horário que iniciou a entrada do mosto ate o final do enchimento da dorna. A diferença da hora final com a inicial é o tempo de alimentação da dorna.
Tempo Fermentação	Indica o tempo, em horas e minutos, que a dorna ficou em processo de fermentação.

	Para obter este valor, utiliza-se a hora de início e a hora final da fermentação de uma determinada dorna. A diferença entre a hora final e hora inicial é o tempo da fermentação de uma dorna específica, quando de uma Fermentação em Batelada.
Teor Alcoólico Vinho Bruto	Indica o grau do vinho após o processo de Fermentação.
Teor Alcoólico Vinho Volante	Indica o grau do vinho após o processo de Centrifugação, ou seja, sem o fermento.
pH do Vinho	Identifica o valor do pH contido no vinho.
Vazão do vinho	Indica a vazão do vinho, medida por um sensor, que esta passando em um determinado tempo.
Temperatura do vinho	Indica o valor da temperatura do vinho
BRIX do vinho	É a porcentagem massa / massa dos sólidos em uma solução de sacarose do vinho.
Teor Alcoólico Levedo	É a quantidade de etanol no levedo
Bactérias Infectantes	Identificação e contagem de bactérias infectantes no processo de fermentação.
pH do Levedo	Identifica o valor do pH contido no levedo
Centrífugas	
% Fermento no leite	Porcentagem de fermento encontrada no leite.
Eficiência Centrífuga	Cálculo que identifica a eficiência das centrífugas na separação do fermento.
%Fermento Vinho	Porcentagem de fermento encontrada no vinho.

4.7.7.2 Regras de Negócio do Processo de Fermentação

As regras de negócio da Fermentação, definida para este trabalho estão descritas abaixo:

Regra 1: CONTROLE DE EXECUÇÃO DA ANÁLISE DO MOSTO.

É importante controlar o desenvolvimento e registros das análises laboratoriais para controle de qualidade do processo de produção.

CONDIÇÃO: Existências dos valores das análises do BRIX, Pol, ART e pH do mosto, digitados no sistemas conforme sua periodicidade estabelecida. Esta periodicidade pode ser de 2 em 2 horas ou conforme rotina da unidade de produção.

AÇÃO: Envio de alerta ao supervisor do Controle de Qualidade, com mensagem para efetiva realização e registro das análises.

Indicadores: BRIX, Pol, ART e pH do mosto.

Origem: Sistemas de controle de qualidade, Laboratório Industrial.

Fluxo de informação: Supervisores e Gerentes do Controle de Qualidade e Gerentes Industriais.

Regra 2: INSTRUÇÕES PARA ELIMINAÇÃO DE BACTÉRIAS INFECTANTES NO PROCESSO DA FERMENTAÇÃO, VIA CENTRIFUGAS.

CONDIÇÃO: Identificação de bactérias infectantes no processo de Fermentação

AÇÃO: Emitir alarme ao operador da fermentação com instruções conforme abaixo:

Verificar se as centrífugas estão bem limpas e seus bicos em ótimo estado; Caso estiverem com problemas, efetuar integração com o sistema de manutenção industrial, abrindo uma ordem de serviço para limpeza dos mesmos.

Verificar se o vinho não esta em elevado estagio de floculação, pois isto dificulta a eliminação das bactérias, pois as bactérias ficam aderidas aos flocos, facilitando seu retorno, junto com o fermento, ao processo;

Indicadores: bactérias infectantes

Origem: Controle de qualidade do processo de fermentação.

Fluxo de informação: Supervisores e operadores do processo de fermentação. Gerente e supervisores do controle de qualidade da produção.

4.7.8 Destilação

4.7.8.1 Indicadores do Processo de Destilação

Os indicadores do processo de Tratamento do Fermento, utilizados para o modelo estão dados na Tabela 4-5.

Tabela 4-5 – Indicadores do Processo de Destilação

INDICADORES	DESCRIÇÃO
Aparelhos	
pH	Identifica o valor do pH contido no etanol que esta sendo destilado.
Acidez	É o valor da acidez encontrado no etanol que esta sendo destilado.
Condutividade	É o valor da condutividade encontrado no etanol que esta sendo destilado.
Grau	Indica o grau encontrado no etanol que esta sendo destilado.
Totalizadores	Para se determinar o volume de etanol que esta sendo produzido, se obtém o valor da vazão, medida por um sensor, que esta passando em um determinado tempo, e o valor do período que se quer calcular o volume. Por exemplo. Volume horário: obtém-se a vazão do inicio da hora = 1:00 vazão 1, obtém-se a vazão do fim da hora = 2:00 vazão 2. O volume de etanol produzido na hora é

	a vazão 2 – vazão 1.
Temperatura	Indica a temperatura do etanol que esta sendo destilado.
% Álcool na Vinhaça	Identifica a porcentagem de etanol encontrada na vinhaça.
% Álcool na Flegmaça	Indica a porcentagem de etanol encontrada na flegmaça.
Volume de Vinhaça	Indica o volume de vinhaça produzido. Cálculo igual ao volume de etanol produzido.
Volume de Flegmaça	Indica o volume de flegmaça produzido. Cálculo igual ao volume de etanol produzido.
Tanque de Álcool	
pH	Identifica o valor do pH contido no etanol que esta no tanque
Grau	Indica o grau encontrado no etanol que esta no tanque.
Acidez	É o valor da acidez encontrado no etanol que esta no tanque.
Condutividade	É o valor da condutividade encontrado no etanol que esta no tanque.
Volume	Para se determinar o volume de etanol que esta no tanque utiliza-se de uma régua para medir o nível do etanol. Com esta medida mais as características físicas do tanque efetua-se o cálculo, em função da área do tanque. Este valor e obtido todo dia, para o caso de um tanque que esta enchendo ou esvaziando.
Temperatura	Indica a temperatura do etanol que esta no deposito.

4.7.8.2 Regras de Negócio do Processo de Destilação

As regras de negócio da Destilação, definida para este trabalho estão descritas abaixo:

Regra 1: QUALIDADE DO ETANOL HIDRATADO QUE ESTA SENDO DESTILADO NOS APARELHOS.

Para se determinar se o etanol que está sendo produzido atende a especificação de qualidade desejada, avalia-se os indicadores pH, acidez, grau e condutividade. Caso estes indicadores estejam fora da faixa especificado, será emitido alerta e orientações de correção da qualidade.

CONDIÇÃO: Se (o pH for menor que 6 ou maior que 8) ou (grau for menor que 92,6 ou maior que 93,8 INPM) ou (condutividade for maior que 500 $\mu\text{S/m}$) ou (acidez for maior que 30 mg/l)

AÇÃO: Emitir alerta aos operadores com um relatório de ações a serem efetuadas, conforme descrito abaixo:

1 – pH abaixo de 6 ou Acidez maior que 30

Aumentar neutralizante,

Verificar os condensadores;

Aumentar a degasagem;

Aumentar retirada de etanol de 2^a.

2 – Grau abaixo de 92,6

Verificar carga da coluna B (temperatura da B4);

Verificar teor do vinho;

Diminuir a retirada de etanol do aparelho (aumentar o refluxo);

Verificar carga da coluna A.

3 – Condutividade acima de 500

Aumentar a degasagem;

Aumentar retirada de etanol de 2^a;

Diminuir neutralizante ou mudar ponto de injeção de neutralizante.

Se, após uma hora os valores continuarem fora da especificação, enviar um e-mail e mensagens para celulares dos supervisores e gerentes da área industrial.

Indicadores: Grau, pH, acidez e condutividade.

Origem: Automação Industrial e Controle de qualidade – Laboratório Industrial.

Fluxo de informação: Operadores da destilaria. Gerentes e supervisores da indústria. Gerente do Controle de Qualidade.

5 MODELO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO – ESTUDO DE CASO

A usina Vista Alegre, situada na cidade de Maracajú, MTS é a mais nova unidade produtora de etanol do Grupo Tonon. Grupo este que, possuindo a visão de futuro e entendendo os objetivos e vantagens, optou por utilizar, na Vista Alegre, desde sua primeira safra, o Modelo proposto com objetivo de Gestão Inteligente do Processo.

5.1 OBJETIVO

O objetivo é aplicar o modelo, utilizando os softwares transacionais de gestão do Processo de Produção Industrial da PROXIMA: PIMS-PI e PIMS-MI. Utiliza os produtos da SIEMENS para atender a automação e controle. Como tecnologia MES utiliza o software SIMATIC IT da SIEMENS.

A integração dos dados é efetuada buscando potencializar a gestão do processo. As informações são provenientes das diversas fontes, sejam elas de automação da planta, dos sistemas de gestão agrícola, do *ERP*, do sistema de laboratório, produção e manutenção ou outros softwares, transformando estas informações em conhecimento estratégico para tomada de decisão em tempo real para alcançar o melhor desempenho da planta e ganhos de qualidade.

É estabelecido um fluxo de informação eficiente com definição dos papéis e responsabilidades de cada um que recebera as informações em tempo real.

A tomada de decisão é feita em função das regras de negócio estabelecidas.

A confiabilidade e eficiência no tráfego de informações são garantidas com o uso apropriado de novas tecnologias, obtendo visão de todo o processo produtivo.

5.2 FUNCIONALIDADES

Abaixo, se apresenta os principais casos de usos que foram definidos e atendidos pelo modelo:

Integrações com dados de múltiplas fontes.

- Utiliza dados da área agrícola para gerenciar em tempo real a moagem e também conhecer a qualidade da matéria prima que esta entrando para a indústria.
- Utiliza dados da automação para saber tempo de uso de equipamentos de uso crítico.
- Utiliza dados de qualidade para tomada de decisão em tempo real nos processos de produção de etanol.

Abrir ordens de serviço para manutenção industrial quando de qualquer anomalia no processo que impeça a continuidade do mesmo.

Configurar os *setpoints* da automação em caso de necessidade de mudança no ritmo do processo de moagem, baseado em informações em tempo real da área agrícola ou quaisquer outros problemas que impeçam o funcionamento normal desta área.

Conhecer e registrar os motivos de paradas nos principais equipamentos do processo, tais como: Moenda, Centrífugas, etc.

Definir fluxo de informação, estabelecendo hierarquia de tomada de decisões.

Definir as principais regras de negócio, com indicação para tomada de decisões em tempo real, seja através de instruções ou automáticas.

5.3 PROTOTIPAGEM

Para a utilização do modelo foi desenvolvido um Portal Web, com telas específicas para as áreas do processo de produção de etanol.

Este portal é composto de telas com níveis de acessos exclusivos aos funcionários dos setores específicos. Por exemplo, telas onde somente os gerentes tem acesso, telas onde operadores tem acesso.

Através do portal, os relatórios com posicionamento dos valores e das operações do processo são disponibilizados para acesso via web, a todos os fluxos de informações previamente estabelecidos.

Este tópico apresenta os modelos de tela que foram definidos para o estudo de caso. Nas telas serão apresentadas colunas com valores de tempo real, valores de: Média dos Turnos, Média do Dia e Média da Safra.

Média dos Turnos: Indica a média dos valores obtidos no turno em operação. Utiliza-se da Hora de Início e Hora de Final de cada turno.

Média do dia: Indica a média dos valores obtidos durante o dia. A cada novo valor de entrada esta informação é recalculada.

Média da Safra: Indica a média dos valores obtidos durante a safra. A cada novo valor de entrada esta informação é recalculada.

A Figura 5-2 apresenta a tela da Moenda.

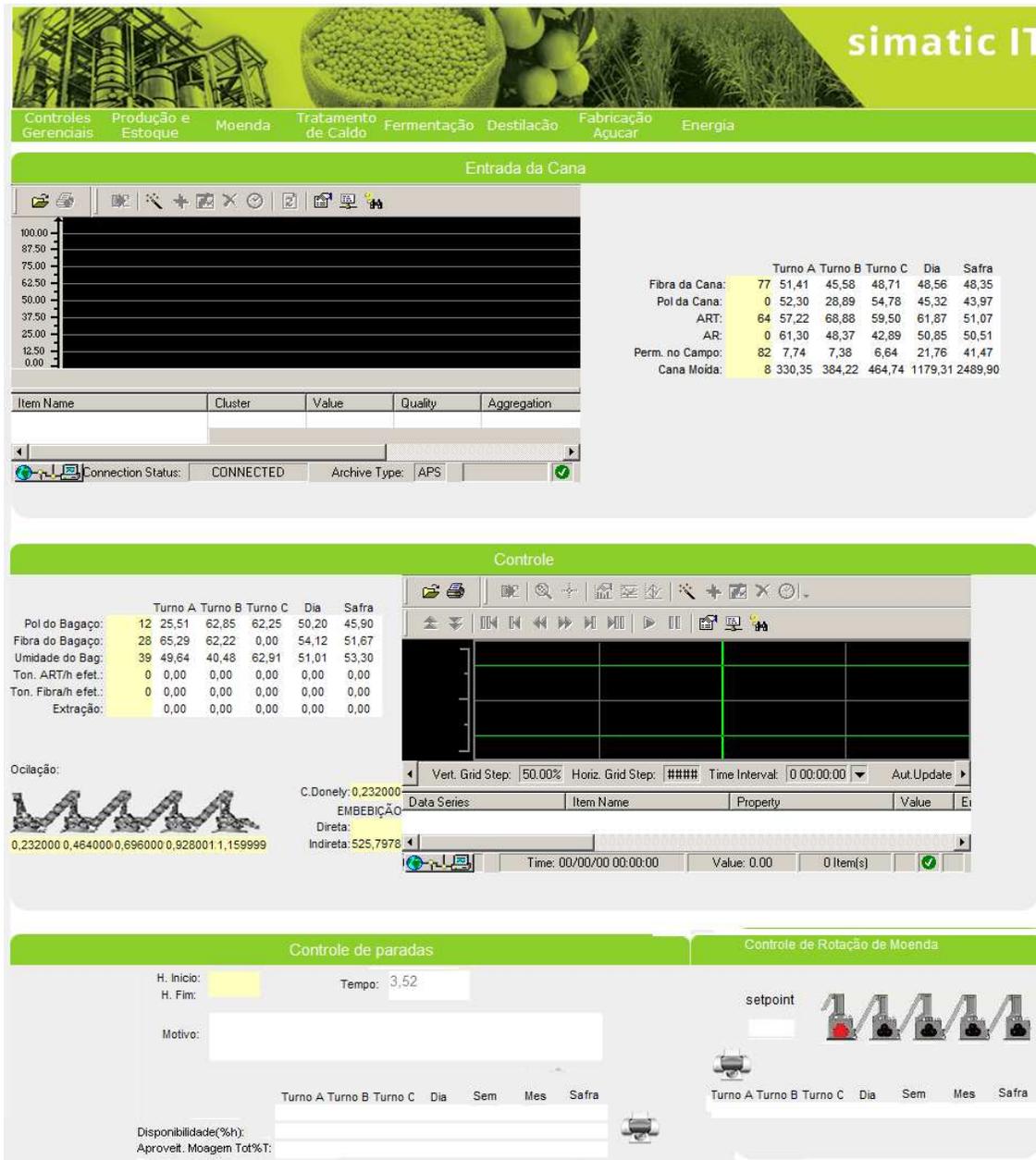


Figura 5-2 - Tela da Moenda

Esta tela apresenta os dados das análises do laboratório de sacarose, com a qualidade da cana B que esta entrando no processo produtivo.

Apresenta, no canto superior esquerdo, um gráfico com informações, em toneladas, da cana que esta entrando.

Na parte central da tela estão sendo apresentados dados de qualidade do bagaço e dados de controle de moagem, com informações de embebição, extração e oscilação.

No canto inferior esquerdo estão os controles de paradas da moenda e no canto inferior direito estão os controles de *set points* do primeiro terno da moenda.

As informações apresentadas nesta tela são obtidas da área agrícola, da automação, do controle de qualidade, do sistema de manutenção industrial e do sistema industrial.

Os dados são apresentados em seis colunas, sendo que na primeira coluna apresenta-se o valor da última hora, ou a cada mudança de informação. Para as colunas 2, 3 e 4 são apresentadas as médias dos valores de cada turno de operação. A coluna 5 apresenta a média do valor do dia e a coluna 6, a média do valor da safra. As médias são definidas conforme a característica das informações, ou seja, para cana moída a média é uma somatória, para extração da moenda a média corresponde a um cálculo, para Pol e Fibra as médias são ponderadas ou aritméticas.

Para o controle das paradas da moenda é obtido o valor hora do momento da parada, disponibilizando ao operador da moenda, a digitação do motivo da parada. Um contador é iniciado para efetuar a somatória do tempo de parada, após o retorno do processo da moenda o motivo é encerrado e o total do tempo de parada é contabilizado e armazenado.

São apresentados os tempos de aproveitamento de uso da moenda.

As regras de negócio, emissão dos alarmes, emissão de e-mails ou mensagens de celulares são executadas internamente, no portal, conforme suas definições efetuadas anteriormente, obedecendo ao fluxo de informação estabelecido. A cada novo dado obtido, as regras são validadas, e se a condição for satisfeita então a ação da regra é efetuada através do fluxo.

Figura 5-3 apresenta a tela do Tratamento do Caldo.

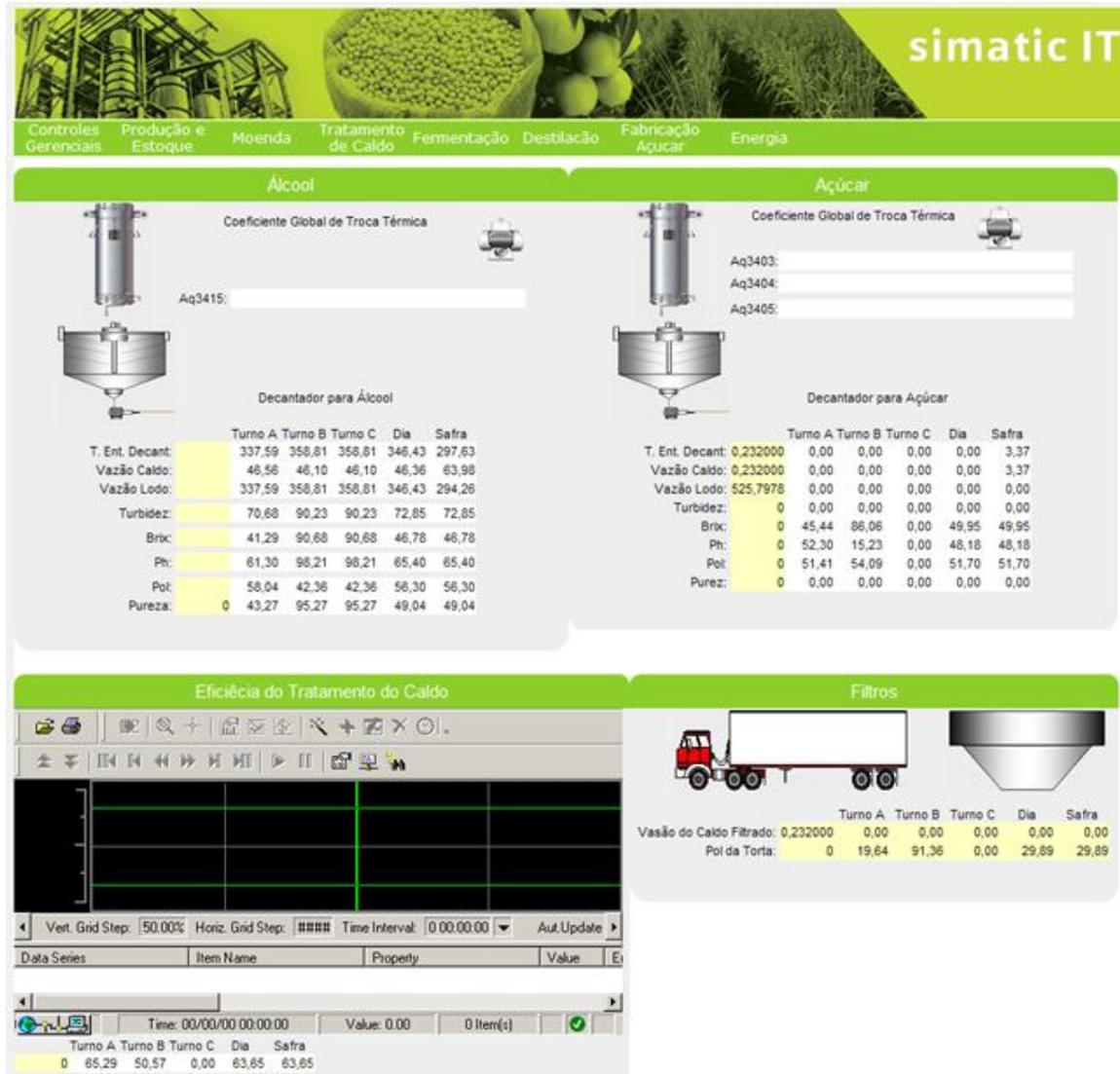


Figura 5-3 - Tratamento do Caldo

Esta tela apresenta informações dos aquecedores e decantadores. Apresenta informações da automação e do controle de qualidade.

A parte inferior da tela apresenta dados dos filtros e um gráfico com o cálculo da eficiência do tratamento do caldo.

As regras de negócio, emissão dos alarmes, emissão de e-mails ou mensagens de celulares são executadas internamente, no portal, conforme suas definições efetuadas anteriormente, obedecendo ao fluxo de informação estabelecido. A cada novo dado obtido, as regras são validadas, e se a condição for satisfeita então a ação da regra é efetuada através do fluxo.

A Figura 5-4 apresenta a tela da Fermentação.

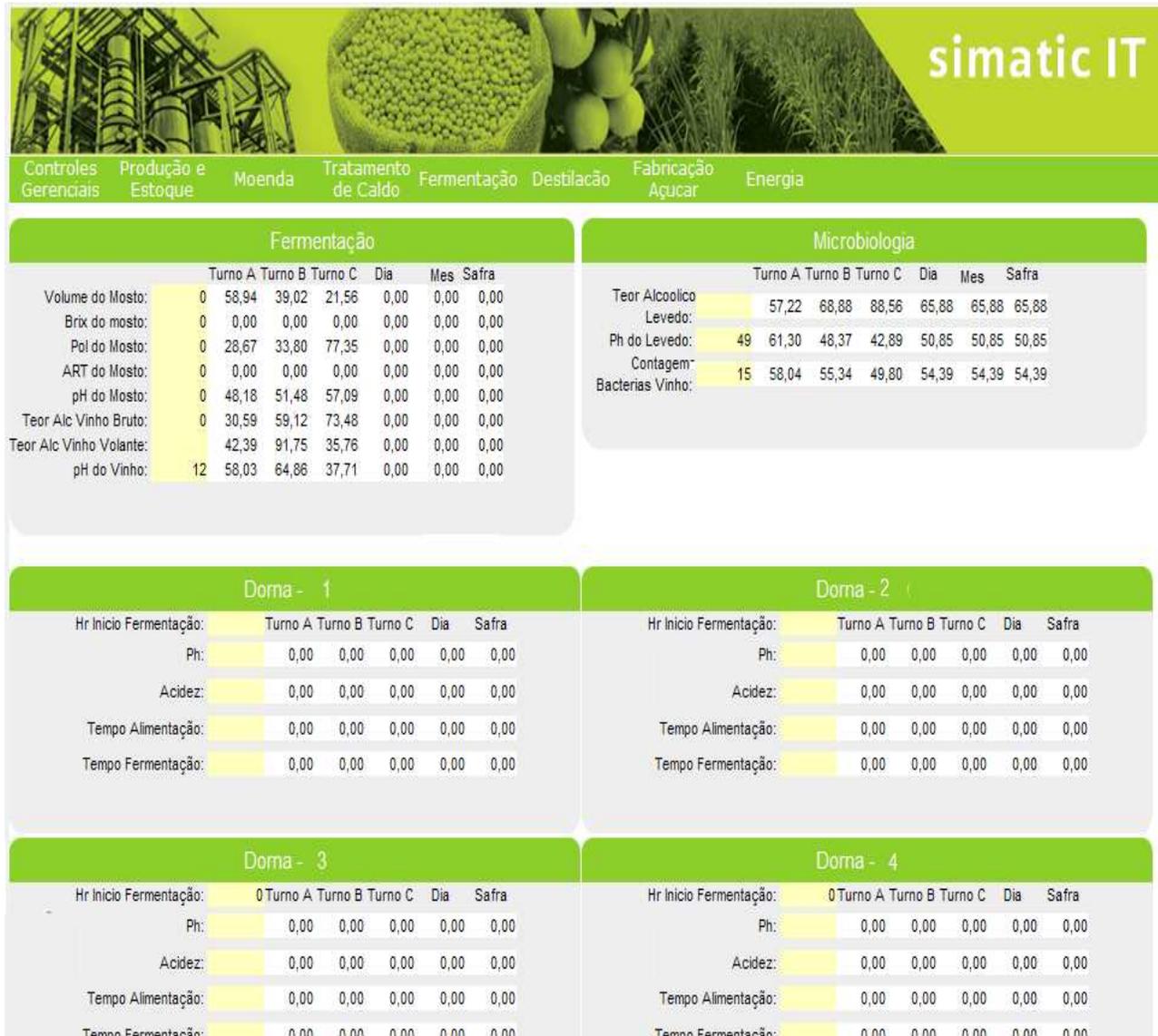


Figura 5-4 - Tela da Fermentação

Esta tela apresenta informações da fermentação e tratamento do fermento. Os dados apresentados têm como origem a automação, para as vazões e volumes e do controle de qualidade, com os resultados das análises realizadas em laboratório industrial. A unidade de produção, onde foi realizado o estudo de caso, trabalha com fermentação em batelada, portanto as análises são efetuadas dorna a dorna. Também são apresentados os tempos de alimentação e fermentação de cada dorna. Uma nova coluna, com valores mensais, foi incluída para esta tela.

A Figura 5-5 apresenta a tela da Destilação.



Figura 5-5 - Tela da Destilação

Esta tela apresenta informações do processo de destilação do etanol hidratado e anidro.

Os dados apresentados têm como origem a automação, para os volumes, as pressões e temperaturas e dados do controle de qualidade, com os resultados das análises realizadas em laboratório industrial, para controle da produção armazenada nos tanques medidores de cada aparelho de destilação.

São efetuadas coletas de amostras ao final do enchimento dos tanques medidores e estas amostras são analisadas para controle de qualidade da produção. Quando do enchimento dos tanques medidores e dependendo de sua qualidade, o volume é direcionado aos depósitos de etanol, para armazenamento e expedição.

A Figura 5-6 apresenta a tela com as produções dos depósitos de etanol.

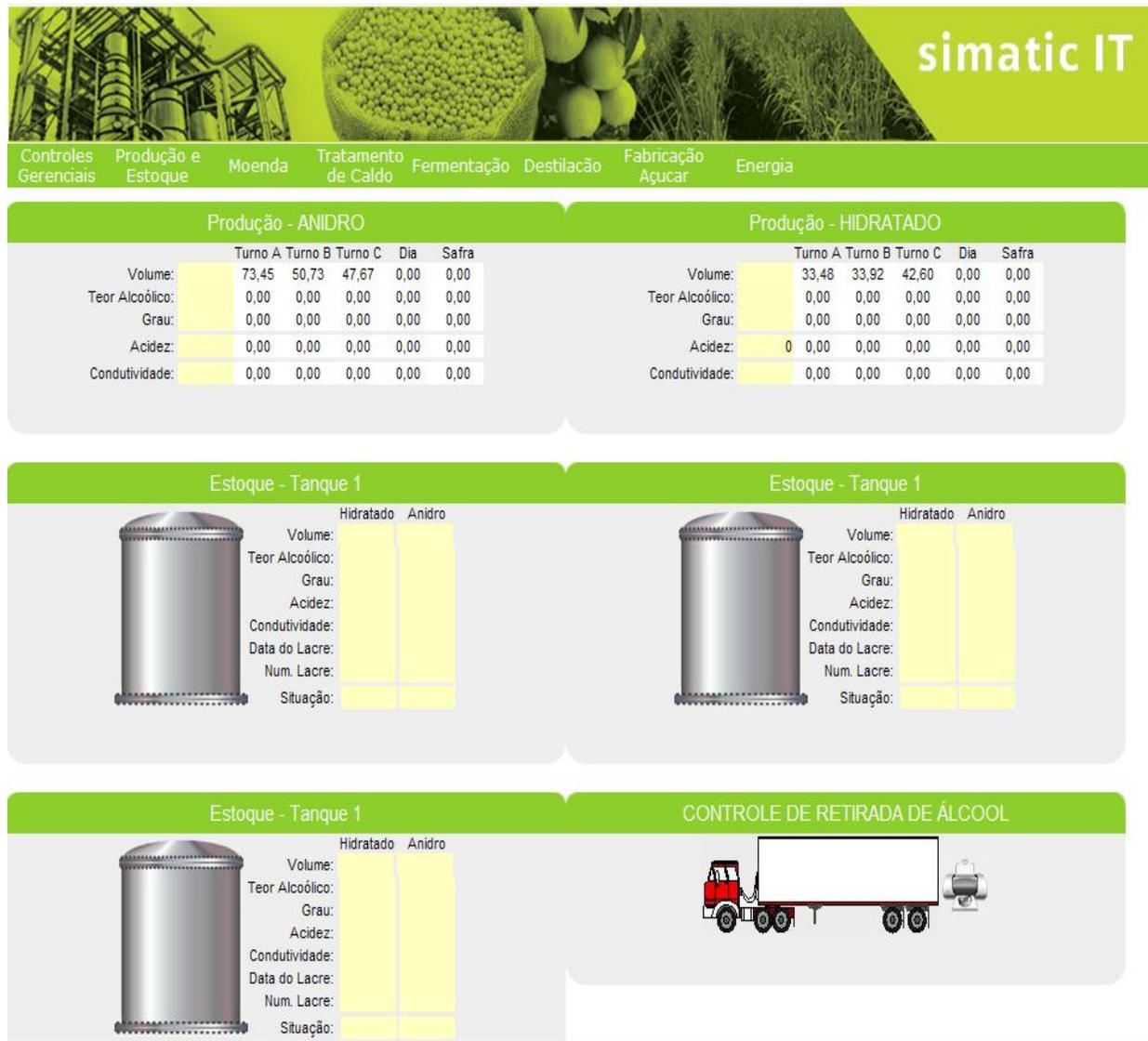


Figura 5-6 - Depósitos de etanol

Esta tela apresenta informações sobre o etanol que está estocado e também sobre a qualidade e volume do etanol que esta sendo expedido.

Diariamente são coletadas amostras nos depósitos de etanol e estas são analisadas para determinação de suas características e qualidades. Com estas informações são emitidos boletins de qualidade para os volumes que estão sendo expedidos.

Para cada retirada de etanol, os volumes em seus depósitos são corrigidos.

A Figura 5-7 apresenta uma tela com os dados gerenciais.



Figura 5-7 - Tela de dados com Controles Gerenciais.

Esta tela apresenta informações sobre o processo de produção. Após o encerramento diário, balanços de massa e balanços de perda são efetuados e apresentados nesta tela, para acompanhamento gerencial.

Os depósitos de etanol e açúcar são sumarizados e seus estoques são apresentados.

5.4 RESULTADOS

Como resultado da implementação de um modelo de processo de produção pode-se citar:

- A síntese de estruturas de controle para plantas é uma tarefa importante no projeto de controle de processos.
- O objetivo dos estudos de controle é o processo completo e integrado com o qual deve atingir os objetivos do processo de forma ótima.
- Melhoria significativa da automação.
- Estabelecimento da comunicação e integração da área de automação com as demais áreas, disponibilizando com eficiências as informações para o processo produtivo. Quando uma atividade estava fora dos padrões

estabelecidos ou necessárias ações para correção do processo, e-mails eram disparados para chefes, supervisores, gerentes e diretores.

- Fluxo de informação entre as áreas. Normalmente o fluxo de informações não é considerado na cadeia de operação.
- Tomada de ações com rapidez, baseadas nas regras. Abordagem proposta neste trabalho pode contribuir para uma avaliação mais abrangente.
- Controle de qualidade com inspeção e integração.
- Manter as variáveis do processo dentro dos seus limites operacionais
- Conduzir as variáveis manipuladas para os seus valores ótimos.

6 CONCLUSÃO

6.1 CONCLUSÃO

O modelo proposto oferece um processo de produção de etanol ajustado, utilizando as tecnologias de pontas nas áreas de automação e projetos e nas áreas da tecnologia da informação.

Com o procedimento proposto é possível resolver a dificuldade de gerenciar em tempo real todas as etapas da planta, onde vários eventos podem acontecer ao longo das operações como, por exemplo: falta ou mudança na qualidade da matéria-prima, quebra de equipamentos no campo ou na indústria e problemas de qualidade nos materiais em processo ou nos produtos fabricados. Com isso a capacidade de resposta a esses eventos torna-se mais rápida e precisa proporcionando um novo nível de gestão.

Mostrou-se que é possível efetuar a integração das informações das mais diversas fontes do processo produtivo, com gestão em tempo real, utilizando-se de regras de negócios estabelecidas, garantindo, através de um fluxo de informação eficiente, tomada de ações para correção do processo ou mudanças estratégicas.

As regras de negócio, estabelecidas através da integração das informações, apresentam instruções para tomada de ações durante o processo produtivo, no momento em que ocorre alguma necessidade de ação, seja de manutenção corretiva ou preventiva.

O processo de produção é monitorado através de relatórios on-line e em tempo real, acessados através de uma página web, enviada por e-mail ou mensagem em um celular.

O setor sucroalcooleiro faz do Brasil o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e açúcar e o principal país do mundo a implantar, em larga escala, um combustível renovável alternativo ao petróleo de forma sustentável, BEN (2010). Como em qualquer atividade econômica, as unidades produtoras precisam ficar mais eficientes, produzir mais com mesma quantidade de matéria prima e com custos

mais reduzidos. A proposta aqui apresentada é uma ferramenta que pode contribuir para proporcionar a estas unidades uma forma de gestão eficiente e rápida. O modelo apresentado está em operação há uma safra, em uma unidade produtora de etanol, com indicação e comprovação de sua eficiência, apesar das dificuldades encontradas.

6.2 RELEVÂNCIA

Os seguintes pontos merecem se destacados mostrando a relevância da abordagem proposta:

Utilização adequada das tecnologias existentes: Há algum tempo o mercado oferece sistemas transacionais para diversas áreas do agronegócio, possibilitando uma operação organizada e documentada.

Na última década, com o avanço tecnológico, os projetos de automação atingiram um nível elevado, oferecendo a agroindústria condições de operações ajustadas e controladas. PROXIMA (2009).

Os fornecedores de softwares, com seus sistemas administrativos estão cada vez mais aderentes ao agronegócio, pois perceberam um grande potencial neste mercado. Os bancos de dados apresentam condições padrões para armazenamento de dados.

O modelo proposto e apresentado neste trabalho oferece a utilização destas tecnologias unificadas para atender uma demanda real do mercado alcooleiro.

A necessidade de uma operação com alto grau de produtividade em todas as áreas do processo produtivo requer que seja garantido maior eficiência e menor custo nas várias etapas do processo, aqui definidos como subsistemas. A necessidade de transparência, ou melhor, visibilidade das informações em função de investidores externos à unidade produtiva é outro incentivo ao emprego de sistemas de gestão integrados.

Todos estes fatores conduziram a definição de um novo paradigma, que possibilitasse a integração das diversas áreas, com um único objetivo: a

integração com regras, comunicação e com tecnologia que sustente a tomada de decisões, seja em nível de subsistemas como do processo global.

Isto se torna possível com os softwares de mercado que possuem uma plataforma tecnológica robusta e flexível, com um pacote de aplicação específico para realidade do setor alcooleiro. Caso este não seja o caso é possível fazer uso dos conceitos de *CAPE (Computer Aided Process Engineering)*, MORAES (2008) e do modelo *VBPMNM (Value based Business Process Network Model)*, SOBRINHO, PACHECO e GATTAZ (2011).. A Figura 6-1 representa de forma esquemática as integrações relativas ao fluxo de informações.

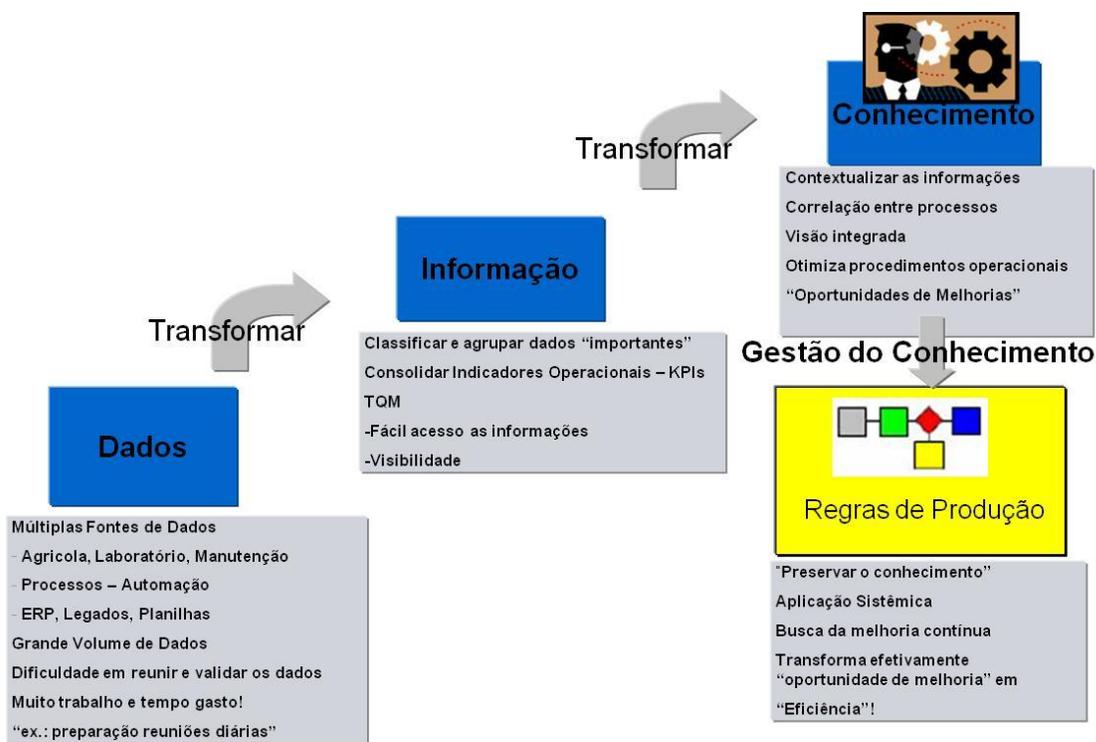


Figura 6-1 - Novo Paradigma.

O modelo permitirá às empresas alcançar outro patamar de integração para suportar suas atividades e necessidades atuais e futuras, além de garantir a manutenção da competitividade baseada em uma melhoria constante de desempenho e otimização dos processos.

6.3 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

A necessidade de definição de um modelo orientado a valor, com descrição de cada processo relacionado a este modelo, com definição de indicadores e regras de negócio eficazes, indica um trabalho a ser realizado, de grande importância para o setor. Em outros setores de indústria no Brasil, este modelo, com seus processos e regras, estão consolidados.

Dentro deste contexto é necessário o aprimoramento e escolha dos indicadores nos processos produtivos e de definição e descrição de regras de negócio baseados no roteiro estabelecido.

Uma vez estabelecido um modelo e definido os indicadores se pode avançar neste processo incluindo novos modelos matemáticos para obter uma consolidação dos dados forte e significativa para o processo de produção de etanol.

Os trabalhos de mestrados e doutorados que possuem métodos ou processos, otimizações e instruções para melhor operação da planta de produção de etanol, podem ser agregados ao modelo proposto como regras de negócio.

O modelo apresentado utilizou o processo de produção de etanol de primeira geração, trabalhos similares podem ser desenvolvidos utilizando o processo de produção de etanol de segunda ou terceira geração, dentro deste mesmo modelo.

E, para finalizar, um trabalho utilizando redes neurais ou redes complexas utilizando-se de lógica nebulosa (*fussy*), e com os algoritmos de otimização. Todos podem evoluir o modelo com grandes benefícios para as plantas de produção de etanol de primeira, segunda ou terceira geração e mais significativamente se compartilhados em redes sociais complexas de cooperação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIHARA, Cintia Kimie. **Uma Abordagem Interativa para o Problema de Capacitação e Pesquisa em Automação**. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Tese de doutorado. 2005.

ALASMAR, Marco. **Automação no setor Sucro-energético**. Inteck. México. 2010.

ALBUQUERQUE, Fernando Medeiros. **Processo de Fabricação de Açúcar**. Editora Universitária UFPE, Universidade Federal de Pernambuco. 2009.

AMORIM, Henrique Vianna, Regina Machado Leão. **Fermentação Alcoólica Ciência e Tecnologia**. Pancrom. 2005.

BALANÇO ENERGETICO NACIONAL. Disponível em <http://www.ben.epe.gov.br>. Acesso em: Jan de 2010.

BARROS, Ronaldo. **MES – Manufacturing Execution System**. Today logistics & Supply Chain. 2007.

CAMARGO, Marcos. **Integração do SGQ NBR ISO 9001:2000 com um Sistema de Gestão por Indicadores**: Estudo de Caso. Campinas. Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Tese de mestrado. Fevereiro de 2009.

CAMPELLO, R.J.G.B. **Arquiteturas e Metodologias para Modelagem e Controle de Sistemas Complexos Utilizando Ferramentas Clássicas e Modernas**. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, 2002, Tese (Doutorado).

Cana de açúcar. Disponível em http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/cana_acucar.asp. Último acesso em Agosto de 2009.

Centro de Tecnologia da Copersucar. Programa de Controle Mútuo Agrícola e Industrial, 2005.

DIAS, Marina Oliveira de Souza. **Simulação do Processo de Produção de Etanol a Partir do Açúcar e do Bagaço, Visando a Integração do Processo e a Maximização da Produção de Energia e Excedentes do Bagaço.** Campinas. Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. Tese de mestrado. Agosto de 2008.

ELIAS, Fabio. **Solução MES para a indústria de Açúcar & Etanol – MESAgro.** Campinas, 2009.

FERNANDES, Antonio Carlos. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar. STAB, 2ª Edição, 2003.**

SOBRINHO, Fuad Gattaz; Gattaz, Cristiane C. e Pacheco, Oscar I.P. **A Value Based Business Process Management Network Model.** A ser publicado em Special Issue of Transactions of the SDPS, Dezembro de 2011.

SOBRINHO, Fuad Gattaz; Gattaz, Cristiane C. e Pacheco, Oscar I.P. **Complexity Measures for Network Process Evolution.** A ser publicado em Special Issue of Transactions of the SDPS, Dezembro de 2011.

GUILLEN-GOSALBEZ, G. and I.E. Grossmann. **“Optimal design and planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty”.** AIChE J., 55, 99-121 2009.

GONZAGA, João Carlos Bastos. **INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS EM TEMPO REAL PARA MONITORAMENTO E CONTROLE. APLICAÇÃO PARA PLANTA**

PET. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2003. Tese (Mestrado).

HASAN, S. D. M.; Melo, D. N.; Filho, R. M. *Chem. Eng. Process.* **2005**, 44, 335-343.

Histórico do Setor Sucro Alcooleiro. Disponível em: [HTTP://www.unica.com.br](http://www.unica.com.br). Acesso em: Abril de 2009.

HUGOT, E. *Handbook of Cane Sugar Engineering*. Elsevier. Third Edition. 1986.

LEE, J. H., Natarajan, S., Lee, K. S. *A model-based predictive control approach to repetitive control of continuous processes with periodic operations*. *Journal of Process Control*, v. 11, p. 195-207, 2000.

LEME, Jose Rubens. **Estudo Comparativo de Métodos de Determinação e Estimativa**. Piracicaba. Tese de Mestrado. 2005.

LUYBEN et al. *Plantwide Control Design Procedure*. AIChE Journal. 1997.

MACEDO, Isaias C. **Situação atual e perspectivas do etanol**. Campinas. 2006.

MACIEL, ODLOAK E WOLF MACIEL, Rubens, Darci e Maria Regina. **Integração de Processos Químicos Contínuos em Tempo Real**. Projeto Fapesp. UNICAMP, Campinas-SP. Início 1999 e término em 2008.

MAGALHAES, Paulo Graziano. **Qualidade da Matéria Prima**. Workshop “Produção de Etanol: Qualidade da Matéria-Prima”. Unicamp. 2008.

MELO, D. N. C.; Santos, M.M. Vasco de Toledo, E.C.; Hasan, S. D. M. ; Wolf-Maciel, M. R.; Maciel Filho, R. *Off-line Optimization and Control for Real Time Integration of a Three-Phase Hydrogenation Catalytic Reactor*. In: *Symposium on Modeling of Complex Processes.*, Texas. 2005.

MELO, Delba Nisi Cosme. **Estratégia de Otimização em duas camadas: Aplicação para Processos de Hidrogenação em Reatores Catalíticos Trifásicos**. Unicamp Campinas – SP. Tese de doutorado. 2005.

MELO, D. N.; Toledo, E. C. V.; Santos, M.M.; Salah, H.; Wolf, M. R.; Filho, R. M. **Comput. Chem. Eng.** 2005, 29, 2485-2493.

MELO, D.N.; Costa, C, B, B.; Toledo, E. C. V.; Mariano, A. P.; Wolf, M. R.; Filho, R. M. **Int. J. Chem. Reactor Eng.** 2010, 8, A62.

MORAES, Richardson. **Potencialidades do Conceito de Gestão Inteligente**. III Fórum Internacional de Automação do Setor Sucroalcooleiro e Alimentício. Sertãozinho. 2008.

NASCIMENTO, João C. do. **Gestão do Conhecimento**: uma perspectiva cívica de negócios. Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica. Universidade Estadual de Campinas. Tese de mestrado. Dezembro de 2000.

NOGUEIRA e VENTURINI FILHO, Andressa Milene Parente e Waldemar Gastoni. **Clarificação de Caldo de Cana por Micro e Ultrafiltração: Comprovação de Viabilidade Técnica em Experimentos Preliminares**. Braz. J. Food Technol., Campinas, v. 10, n. 1. 2007

PAYNE, John Howard. **Operações Unitárias na Produção de Açúcar de Cana**. Nobel/STAB. 1990.

PFAFF, G.C. **Generating Information for Real-Time Optimization Systems**. MSc. Thesis. University of Alberta, Edmonton, Canada, 2001.

REZENDE, Mylene C. A. Ferreira. **Modelagem e Otimização de Processos para Implementação em Tempo Real**. Unicamp. Campinas- SP. Tese de doutorado. 2007.

RIBEIRO, Paulo Roberto. **A Usina de açúcar e sua automação**. 2ª ed. Smar Equipamentos Industriais Ltda. 2003.

RIVERA Elmer Ccopa, Sarita Cândida Rabelo, Daniella dos Reis Garcia, Rubens Maciel Filho, Aline Carvalho da Costa. **“Enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse for bioethanol production: determining optimal enzyme loading using neural networks.”** Journal of Chemical Technology & Biotechnology, DOI-10.1002/jctb.2391, February, 2010

RIVERA Elmer Ccopa, Daniel I.P. Atala, Francisco Maugeri Filho, Aline Carvalho da Costa and Rubens Maciel Filho. **“Development of real-time state estimators for reaction–separation processes: A continuous flash fermentation as a study case”**. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, Volume 49, Issue 4, Pages 402-409, April 2010.

SANTOS, M. M.; Melo, D. N. C.; Vasco de Toledo, E. C. Maciel Filho, R. **Dynamic Real-Time Optimization for Large Scale Industrial Systems**; In: 7th World Congress of Chemical Engineering, Glasgow, 2005.

SILVA, Juliana Saragiotto. **Gestão do conhecimento e gestão de pessoas: desafios para as organizações públicas**. Campinas. Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. 2008

SIMATIC IT. Disponível em <http://www.siemens.com/entry/br/pt/>. Acesso em Mai de 2010.

SOFTWARES TRANSACIONAIS. Disponível em <HTTP://www.proxima.agr.br>. Acesso em Outubro de 2009.

SOUZA, Cesar Alexandre De; SACCOL, Amarolinda Zanela, **Sistemas ERP no Brasil(enterprise resource planning) Teoria e Casos**. Editora Atlhas, 2003.

TARHAN, B., V. Goel and I.E. Grossmann. ***“A Multistage Stochastic Programming Approach for the Planning of Offshore Oil or Gas Field Infrastructure under Decision Dependent Uncertainty”***. Ind. Eng. Chem. Research 48, 3078-3097 2009.

TRESMONDI, A. **Integração de Processos Químicos em Tempo Real: Aplicação para o Processo de Oxidação de Cumeno**. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2003. Tese (Doutorado).

YOU, F., J.M. Wassick and I.E. Grossmann. ***“Risk Management for a Global Supply Chain Planning under Uncertainty: Models and Algorithms”***. AIChE J. 55, 931-946 2009.

ZANIN, A.C.; TVRZSKÁ DE GOUVÊA, M., ODLOAK, D. ***Integrating real-time optimization into the model predictive controller of the FCC system. Control & Engineering Practice***, v.10, n.8, p.819-831, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A - SOFTWARES TRANSACIONAIS DE CONTROLE E GESTÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL NA PRODUÇÃO DE ETANOL

Objetivo

Os softwares transacionais possuem como principal objetivo suportar as principais operações da agroindústria canavieira.

Controla desde a entrada da cana na balança passando pelo laboratório de sacarose ate a expedição ou armazenamento do produto final – Etanol.

A figura A-1 apresenta a abrangência dos softwares da área Industrial de uma unidade de produção de Etanol.



Figura A-1 - Abrangências dos Sistemas Industriais

Descrição

O conjunto de softwares que atende a área industrial trabalha com conceitos de multi-safra e multi-empresa, ou seja, consegue tratar dados de varias safras ao mesmo tempo e também de varias unidades produtoras de um mesmo grupo;

Apresenta integração total com os demais sistemas que a organização possa utilizar.

Principais Características

Possuem mecanismos de análises confiáveis, agilizando a tomada de decisões. É de fácil utilização e possui os mais avançados recursos de fórmulas, funções, gráficos e diagnósticos.

Possibilita o monitoramento dos processos e da manutenção industrial com transparência e qualidade;

Efetua aquisição automática dos dados dos equipamentos dos laboratórios.

Efetua todo o controle e gestão do laboratório industrial, controlando vidrarias, calibrações e aferições de equipamento. Controla os insumos utilizados e também os produtos químicos e reagentes.

Aperfeiçoa a comunicação entre os vários níveis de usuários envolvidos no Processo Industrial, agilizando o processamento das informações e dispensa o armazenamento na base de dados dos valores.

Possibilita a classificação automática de produtos, assim como a emissão de certificado de qualidade de produtos finais (levedura, etanol e açúcar);

Permite a configuração de funções matemáticas complexas, unidades de medida, formação de médias, especificação das faixas de trabalho e tamanho de máscara dos atributos editáveis.

Emite alarmes para o analista responsável com mensagens, sempre que os resultados das análises estiverem fora de especificação;

1. Laboratório de Sacarose.

É o responsável por efetuar o registro das amostras a serem analisadas para o controle do PAGAMENTO DE CANA POR TEOR DE SACAROSE – PCTS, e também conhecer as características da matéria prima que estará entrando para o processo de produção.

Obedece toda a legislação governamental vigente.

Este aplicativo oferece total disponibilidade das informações em tempo real.

A aquisição dos dados é feita parte automática e parte através de digitação.

Para a aquisição dos dados automática, obtém-se os dados dos equipamentos do Laboratório de sacarose e apresenta na tela, conforme representa a figura A-2. Caso haja algum problema com os equipamentos, os dados poderão ser digitados.

Controle do Fluxo de Dados nos Terminais

Zerar Dados Turno

Ativar Desativar

Sair

Automação Laboratório de PCTS

Funcionamento:

Terminais Desativados

Peso Amostra:

Refratômetro:

Peso Bolo Úmido:

Sacarímetro:

Peso Impurezas:

Sonda:

Cargas Entr. Qtde. Análises % Analisado

Cargas Turno Análises Turno % Anl. Turno

Figura A-2 - Aquisição de dados automaticamente.

A parte superior da tela apresenta as opções de aquisição automática ou manual. No centro da tela são apresentados os valores das análises e a parte inferior da tela apresenta totais para avaliação das quantidades de cargas e análises efetuadas por turno.

Para os dados não obtidos automaticamente seu registro é efetuado quando da entrada da cana. A amostra é coletada através de sonda e encaminhada para o laboratório de sacarose, as análises são efetuadas e seus valores são digitados, conforme apresenta a figura A-3.

Data Atual		Hora Atual	
Data Movimento			
Nr. Análise			
Liberação			
Diluição	N		
Caldo Clarificado(S/N)			
Data/Hora Amostra		Frente	
Peso Amostra			
Peso Bolo Úmido			
Leitura Pol			
Leitura Brix			
Temperatura			
AR			
Pol % Caldo			
Ph		Fator 5	
Fator 2		Fator 6	
Fator 3		Fator 7	
Fator 4			
Total Digitado:			
Análises Calculadas			
Pureza			
Pcc			
Fibra			
Ágio			
ATR			

Figura A-3 - Digitação dos dados de análises.

A tela apresenta um controle da data e hora da amostra além dos valores das análises. No final da tela se tem o total das amostras digitadas.

2. Controle de Qualidade do Processo Produtivo – PIMS-PI

Objetivo:

Fornecer ampla visão, para tomada de decisão, de todo o processo produtivo de etanol, através de uma completa gama de recursos, informações, análises, relatórios, boletins, gráficos, comparativos entre safras, alertas e regras de qualidade da situação diária de uma unidade.

Monitorar o processo produtivo, com controle da qualidade do produto, efetuando uma comunicação entre as áreas envolvidas.

Área de Abrangência:

A Figura A-4 apresenta as áreas que compõem o controle de qualidade do processo produtivo: PIMS-PI, ou seja, tudo que envolve o processo de produção de uma unidade de produção de etanol e açúcar.

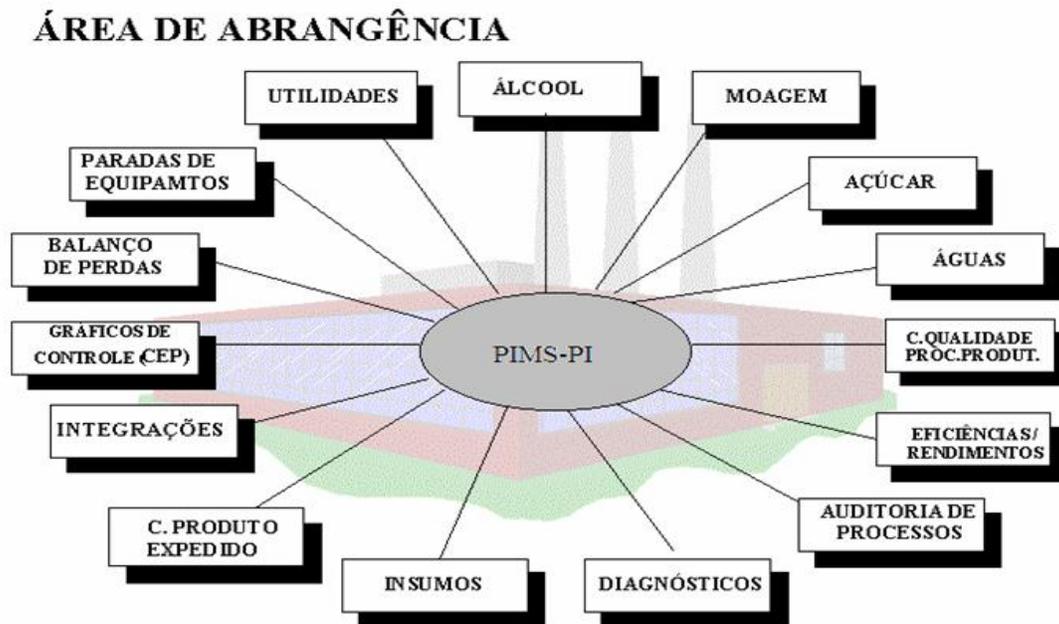


Figura A-4 - Abrangência

Apresentação:

O software oferece grande flexibilidade, oferecendo ao usuário condições de ajuste para sua realidade em relação às análises, frequências, cálculos e resultados.

A Figura A-5 apresenta uma tela de digitação de análise, após o usuário da unidade, efetuar a configuração do sistema conforme a realidade da usina.

Do lado esquerdo da figura aparecem todas as áreas que foram configuradas para receber a digitação das análises de qualidade.

Do lado direito da figura aparecem as análises com suas frequências. As análises podem ser digitadas pelo usuário e também calculadas pelo sistema, desde que sua formula tenha sido digitada anteriormente pelo usuário. A última coluna da tela é a média da análise. Esta será calculada conforme a digitação dos períodos.

	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
ASPECTO VISUAL ()		LI	LI	LI				
MASSA ESPECÍFICA A 20°C (Kg/m3)	890	903	900	899				
VISCOSIDADE CINEMÁTICA (Mm2/s)								
ÁGUA E SEDIMENTOS (% VOLUME)		0.03		0.05				
CONTAMINAÇÃO TOTAL (%)	0.1	0.21	0.22	0.23				
PONTO DE FULGOR (°C)	100	100	100	100				
TEOR DE ÉSTER (% MASSA)	0.3	0.32	0.31	0.31				
DESTILAÇÃO (°C)	230	250	250	250				
RESÍDUOS DE CARBONO 100% DESTIL	0.11	0.12	0.12	0.12				
CINZAS SULFATADAS (% MASSA)	0.02	0.01	0.01	0.01				
ENXOFRE TOTAL (% MASSA)								
SÓDIO + POTÁSSIO (mg/Kg)	10	3	3	3				
CÁLCIO + MAGNÉSIO (mg/Kg)	0.4	0.3	0.4	0.4				
FÓSFORO (mg/Kg)								
CORROSIVIDADE AO COBRE (3h A 50 %	0.6	0.5	0.45	0.45				
NÚMERO DE CETANO ()								
PONTO DE ENTUPIAMENTO DE FILTRO A								
ÍNDICE ACIDEZ (mg KOH/g)	0.8	0.7	0.7	0.7				
GLICERINA LIVRE (% MASSA)	0.02	0.01	0.01	0.01				
GLICERINA TOTAL (% MASSA)	0.38	0.39	0.39	0.39				
MONOGLICERIDEOS (% MASSA)								
DIGLICERIDEOS (% MASSA)								
TRIGLICERIDEOS (% MASSA)								
METANOL OU ETANOL (% MASSA)	0.5	0.4	0.5	0.5				
ÍNDICE DE LODO ()								
ESTABILIDADE À OXIDAÇÃO A 110 °C (h	6	6	6	6				

Figura A-5 - Tela de Digitação de Análise.

A Figura A-6 apresenta um dos boletins diários oferecidos pelo sistema. Os boletins apresentam os resultados das análises com suas médias respectivas. Podem-se ter boletins de análises, balanços de massas, produções, etc.

Os boletins do sistema podem ser emitidos no período que o usuário necessitar: diário, semanal, mensal, anual, etc.

Os boletins podem representar dados de uma safra ou comparativos entre as safras. Podem representar dados de uma unidade ou de varias unidades.

Os boletins são configuráveis pelo usuário, ou seja, o usuário quem indicam quais e como as informações serão apresentadas.

O usuário pode definir quantos boletins forem necessários.

APRESENTAÇÃO BOLETIM DIÁRIO 2007 - 01/04/2008 - 22:21							
Indústria	Formulário	Revisão	Emissão	Pág.: 5			
Descrição	Unidade	15/10/2007	Semanal	Quinzenal	Mensal	Acumulado	Acum Saf. Ant
Tempo Aproveitado (%)	%	97,70	97,70	92,34	92,34	81,35	83,71
Tempo Perdido (h)	UN	0,330	0,330	27,337	27,337	210,155	183,384
Número de Paradas	UN	2,000	2,000	36,000	36,000	106,000	125,000
Média Horária Moagem (t/h)	TON/H	368,625	368,625	364,889	364,889	356,961	348,891
Extração Absoluta (%)	%	96,22	96,22	96,04	96,04	96,12	96,12
Embebição % Cana	%	34,86	34,86	31,25	31,25	31,32	31,21
Rendimento Açúcar (kg / tc)	KGTC	112,75	112,75	107,60	107,60	103,36	103,09
Rendimento Cristal (kg / tc)	KGTC	113,998	113,998	108,727	108,727	104,447	104,159
Rendimento Industrial (kg)	KGTC	111,879	111,879	107,085	107,085	103,414	103,604
Rendimento RI-STAB	KGTC	115,46	115,46	109,98	109,98	106,24	106,21
Rendimento RIF-STAB	KGTC	133,13	133,13	126,80	126,80	122,46	122,45
Rendimento Álcool (l / tc)	LTC	75,98	75,98	75,98	75,98	74,76	74,62
Rendimento Álcool (l / tm)	LTM	309,75	309,75	316,75	316,75	318,50	313,23
Eficiência Global Fábricação %	%	82,60	82,60	83,20	83,20	80,11	80,18
Rendimento Industrial em ATR	KGTC	141,254	141,254	135,059	135,059	130,327	129,720
Eficiência Global em ATR	%	91,613	91,613	93,334	93,334	89,874	89,290
Rendimento em ART (kg / tc)	KGTC	137,619	137,619	130,446	130,446	125,786	125,485
Eficiência daFabricação em ART	KG ART	95,179	95,179	95,235	95,235	91,367	90,766
Eficiência Geral em ATR	%	92,610	92,610	92,088	92,088	88,566	88,238
BALANÇO DE POL (kg / tc)							
PCC (%)	%	13,5440	13,5440	12,8700	12,8700	12,9083	12,9200
ATR (kg / tc)	%	137,2240	137,2240	128,7863	128,7863	129,0583	129,2985

Figura A-6 – Boletim

O sistema apresenta vários tipos de gráfico para acompanhamento do processo produtivo, os gráficos podem representar uma análise ou cálculo do controle de qualidade, bem como efetuar uma correlação entre análises ou também Controle Estatístico do Processo.

A figura A-7 apresenta modelo destes gráficos.

Os gráficos são configuráveis pelo usuário, ou seja, o usuário quem indica quais as informações e que tipo de gráfico será apresentado.

Podem-se ter vários gráficos com diversos tipos.

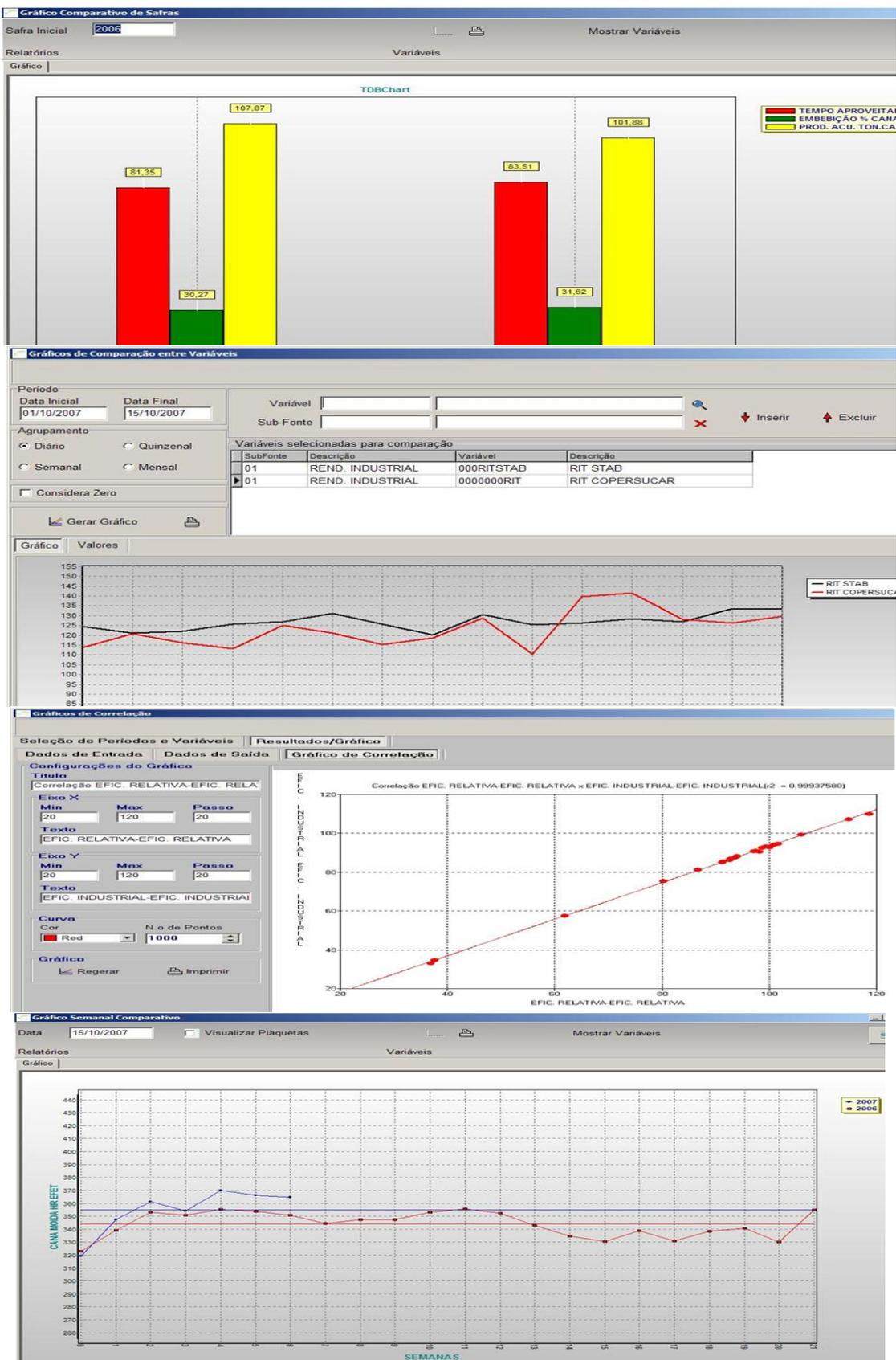


Figura A-7 - Modelos de Gráficos

A Figura A-8 apresenta a funcionalidade de comparativo dos indicadores, este comparativo pode ser feito entre safras, entre unidades produtoras e também dos dados planejados com os realizados.

Esta funcionalidade é de vital importância para o gestor, do processo produtivo, avaliar o desempenho da safra e a necessidades de tomada de decisões.

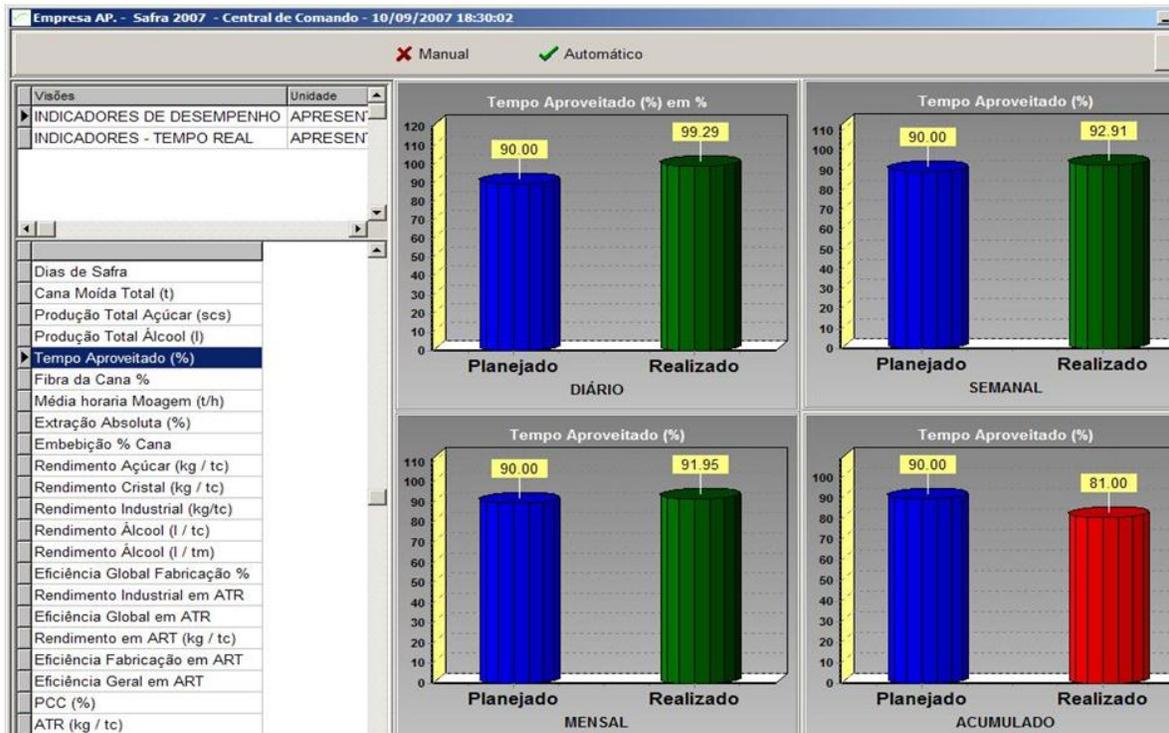


Figura A-8 – Comparativo de Indicadores

3. Gestão de Laboratório Industrial

Objetivo:

Gerenciar e controlar os diversos laboratórios das unidades industriais auxiliando na administração dos insumos, equipamentos e vidrarias, fornecendo informações sobre estoques, validades, responsáveis, consumos, localização de laudos de aferição e calibrações, armazenamento de laudos digitalizados.

Área de Abrangência:

A Figura A-9 apresenta as áreas que compõem o gerenciamento e controle de laboratórios industriais.

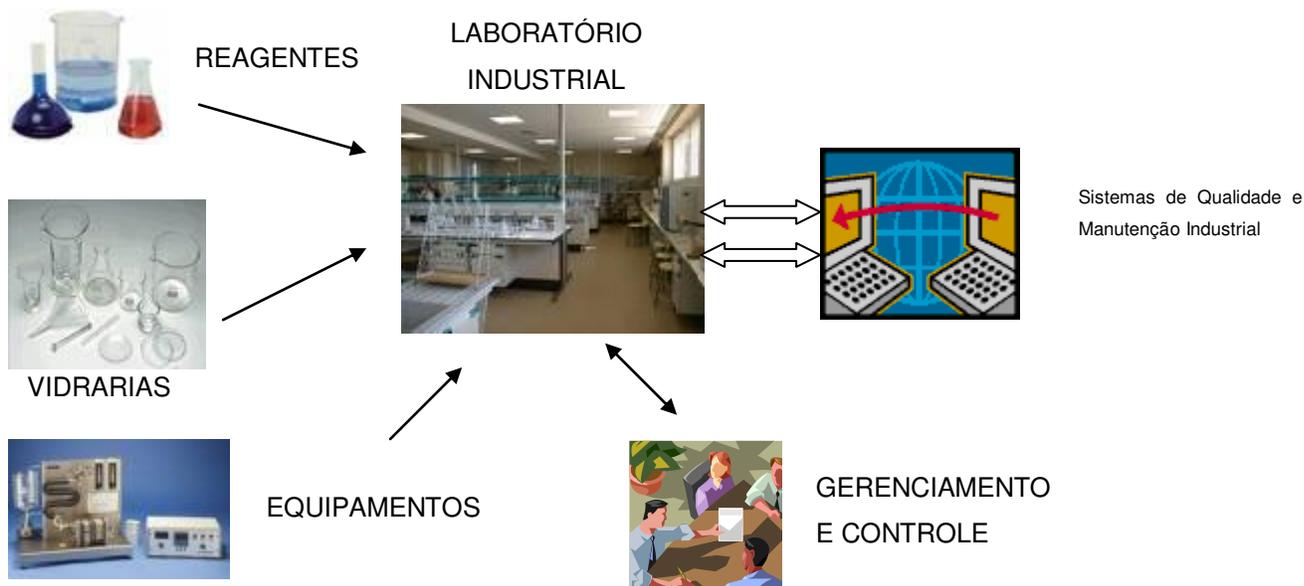


Figura A-9 – Abrangência da Gestão dos Laboratórios Industriais.

4. *Sistemas de Manutenção Industrial – PIMS-MI*

Objetivo:

Os sistemas de Gestão da Manutenção Industrial, PIMS-MI, foram desenvolvidos especificamente para atender as necessidades da manutenção industrial do setor sucroalcooleiro.

Área de Abrangência:

A Figura A-10 apresenta as áreas que compõem o PIMS-MI.

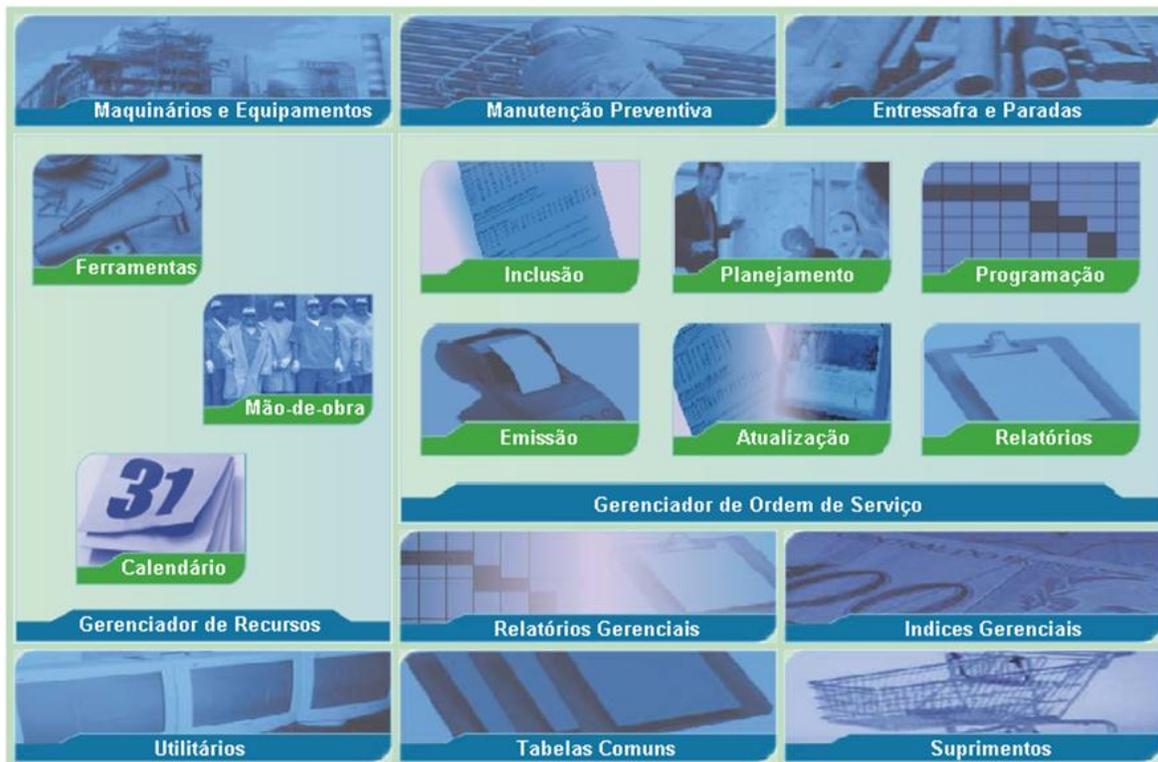


Figura A-10 - Sistema de Manutenção Industrial

Apresentação:

As principais funcionalidades do sistema:

- Planejamento, programação e controle das atividades de safra e entressafra;
- Atender as manutenções preventiva, preditiva e proativa,
- Registro das atividades das manutenções para se obter históricos de vida dos principais equipamentos;
- Registro das características técnicas e operacionais dos equipamentos;
- Efetuar os cálculos dos custos das manutenções;

Figura A-11 apresenta a tela onde são cadastrados os equipamentos e seus principais componentes.

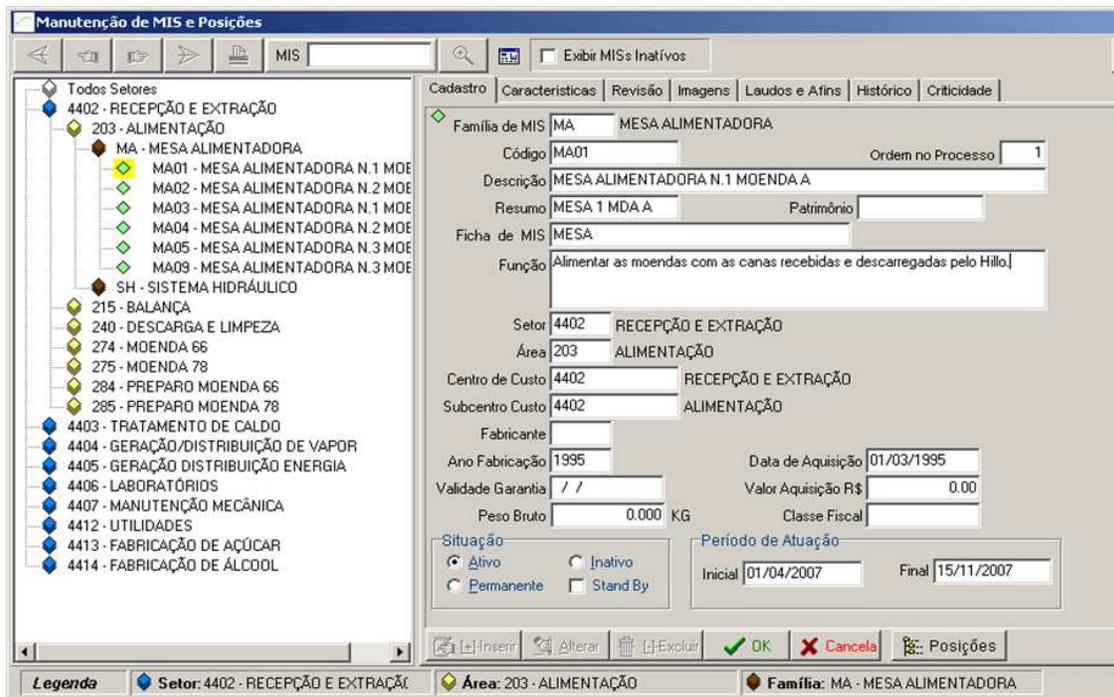


Figura A-11 - Equipamentos

A Figura A-12 apresenta lista dos equipamentos, do lado esquerdo da tela e do lado direito, apresenta a imagem correspondente ao equipamento em evidência.

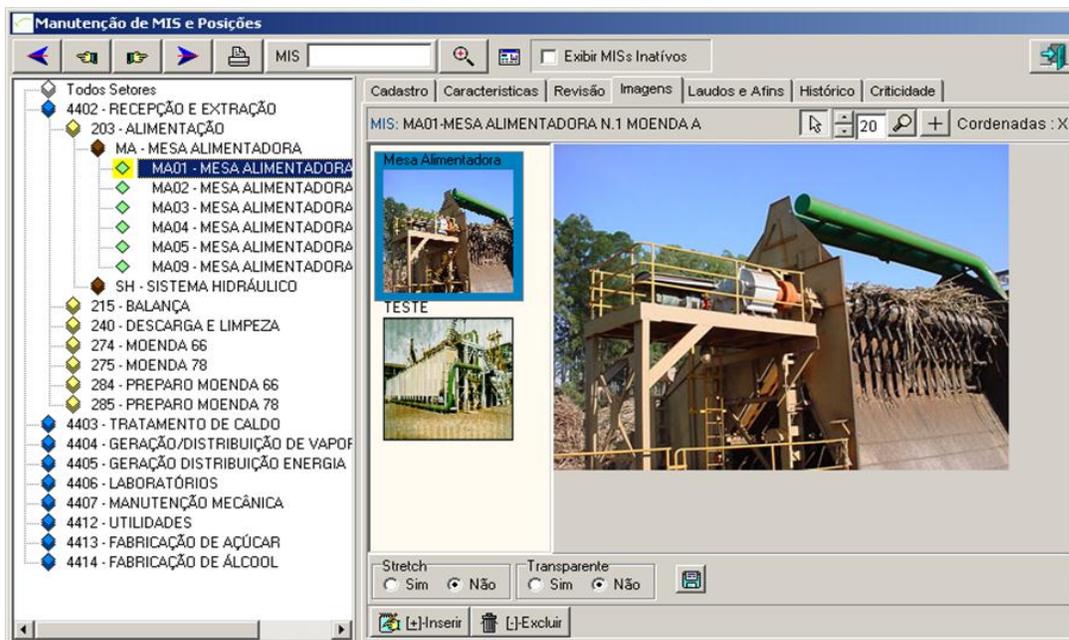


Figura A-12- Imagens

A Figura A-13 apresenta os controles da Manutenção de Entressafra.

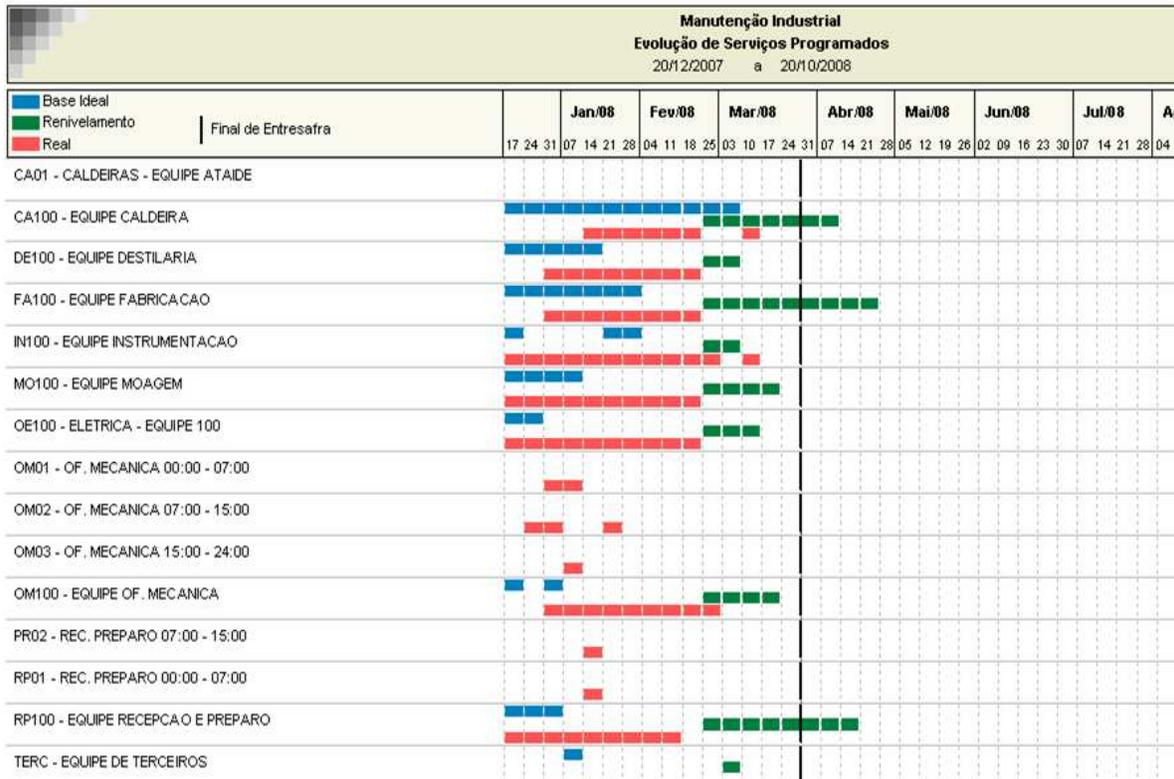


Figura A-13 – Manutenção Entressafra

APÊNDICE B: MES – SIMATIC IT

O software de controle de produção utilizado no estudo do caso foi o *Simatic It* que é uma suíte de produtos da SIEMENS que possui a tecnologia MES. A Siemens, empresa líder no mercado possui um ramo de atuação focado especificamente nas unidades de produção de etanol, autorizou e auxiliou a apresentação e utilização de um produto de software, específico na tecnologia MES. SIEMENS (2010).

Descrição

Nesta dissertação apresentaremos os produtos da suíte que serão utilizados no estudo de caso. Os demais produtos da suíte *Simatic It* poderão ser conhecidos acessando o site da Siemens: www.siemens.com.

SIMATIC IT Historian

SIMATIC IT Historian é uma coleção de módulos de Software para coletar informações do processo e armazená-la para o *Quality Assurance*, apresentação de Relatórios, Certificações, Análise Estatística, Monitoração de Performance, etc. Esses dados ficam assim disponíveis através de interfaces padrão de comunicação abertas. *SIMATIC IT Historian* coleta estes dados de milhares de I/Os, associando-os com dados da produção e os deixando disponíveis para todas as pessoas na corporação. A configuração *multi-server* permite distribuí-los por diversos locais. O *SIMATIC IT Historian Client* é uma interface tabular e/ou gráfica, que agrega informação e a organiza em diferentes tipos de visualização. Pacotes padrão como *MS Excel* podem ser usados através da interface de padrão aberto provida pelo *SIMATIC IT Historian*.

SIMATIC IT Plant Performance Analyzer (PPA) é parte do *Historian* e proporciona um arquivamento de longo período, focado na coleta de dados de diferentes fontes e os validando se necessário. PPA arquiva esses dados como um tag em

uma base de dados relacional. Ele também pode gerar novos valores partindo de tags existentes, aplicando funções pré-definidas ou provendo a possibilidade de customizar funções através do *VB Scrip*. A aquisição de dados pode ser disparada em função do tempo ou de eventos.

O componente possui as seguintes funções principais:

Fonte de Dados: o PPA efetua a coleta dados de diferentes fontes: *SIMATIC IT Real Time Data Server*, *SIMATIC IT Plant Data Archive* (o coletor/compactador de dados históricos do *Historian*), o próprio *SIMATIC IT PPA* e bases de dados relacionais externas.

Definição de Classes: É a definição das características da aquisição de dados incluindo fonte de dados condições de disparo (*trigger*) resolução de tempo, etc.

Gerenciamento de Tags: Um Tag PPA corresponde a um simples dado que pode ser coletado, manipulado se requerido e armazenado. Um tag inclui diversos parâmetros como um nome, classe, valor, função de validação, etc. Tags podem ser organizados hierarquicamente e montados em grupos funcionais (pastas).

Validação de Dados: PPA está apto a aplicar funções de validação a cada dado bruto que venha do campo. Essas funções validam os valores das amostras de forma a gerar informação de qualidade que é adicionada ao flag de qualidade deste dado original se necessário. Essas funções são de dois tipos: validação no valor ou na tendência.

Funções de Agregação Padrão: Uma das principais funções do *SIMATIC IT Plant Performance Analyzer* é sua capacidade de aplicar funções de cálculo nas amostras, de forma a agregá-las e armazená-las em menores porções de dados. As funções de agregação disponíveis são cálculos em função do tempo para um tag em certo período de tempo, e não é possível agregar múltiplas fontes de dados em único tag agregado. Informação sobre a qualidade é usada para validar as amostras antes de realizar os cálculos: dados brutos marcados como *BAD* ou

UNCERTAIN não são usados. Se a função de agregação precisa de certo número de amostras para ser aplicada, pode ser configurada uma porcentagem mínima de amostras válidas como um pré-requerimento para aplicar a função de agregação. As funções de agregação abaixo são utilizadas sobre tags analógicos:

- Média
- Desvio padrão over time
- Variância
- Max, Min over time
- Max, Min with time
- Range over time
- Soma Over Time
- Integral Over Time

As funções de agregação abaixo estão disponíveis para que o usuário possa tratar tags digitais:

- Maximum OFF time
- Maximum ON time
- OFF count
- ON count
- Total OFF time
- Total ON time

Agregação de Dados Customizados: O PPA permite a você criar suas próprias funções para agregar dados. Você as cria usando a linguagem *VBScript*. O *PPA Manager* providencia um ambiente dedicado para editar, gerenciar, testar e *debugar* funções *VBScript*. Nesse caso é possível também agregar múltiplas fontes de dados em único tag.

Gerenciamento de KPIs: A capacidade de agregar e organizar dados em KPIs são um requerimento básico. *SIMATIC IT PPA* proporciona a possibilidade de coletar dados brutos de diversas fontes distintas e agregá-las em tags de alto

nível. Na figura abaixo é apresentado como um dado bruto pode ser agregado para prover a informação correta em diferentes níveis. O dado bruto é uma máquina de estados (on ou off). No nível *SCADA* a informação é puramente um gráfico baseado no tempo. Bases de dados Relacionais armazenam estas informações em termos de registros. O KPI pode ser o custo de uma parada ou a eficiência geral de uma linha (comparada com outras). O ponto importante é saber quando decidir que uma linha pode produzir ou quando investir em manutenção. O sistema prove a informação correta, no lugar correto e da forma certa. Computar KPIs pode ser muito simples ou muito difícil. Isso depende do nível de agregação requerido, na disponibilidade dos dados brutos e na complexidade dos algoritmos. SIMATIC IT PPA provem um ambiente flexível (baseado em VBScript), para computar complexos KPIs baseados em fontes de dados múltiplas.

Os KPIs uma vez calculados podem ser recuperados e apresentados para diferentes usuários. Outras aplicações podem influenciar no resultado dos cálculos dos KPIs ou o módulo cliente pode apresentar dados aos usuários para análise da produção. KPIs podem ser analisadas em uma base de tempo ou em uma base relacional, associando-os a lotes de produção ou bateladas.