

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PAULO HENRIQUE PESCIO

**Análise da integração da tecnologia da automação aplicada ao
processo de fabricação de papel**

São Paulo

2016

PAULO HENRIQUE PESCIO

**Análise da integração da tecnologia da automação aplicada ao
processo de fabricação de papel**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr.
Augusto Ferreira Brandão Júnior

São Paulo

2016

PAULO HENRIQUE PESCIO

**Análise da integração da tecnologia da automação aplicada ao
processo de fabricação de papel**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Elétrica.

Área de Concentração:
Sistema de Potência

Orientador: Prof. Dr.
Augusto Ferreira Brandão Júnior

São Paulo

-2016-

Catálogo-na-publicação

Pescio, Paulo Henrique

Análise da integração da tecnologia da automação aplicada ao processo de fabricação de papel / P. H. Pescio -- São Paulo, 2016.
112 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Automação Industrial 2.Integração de Sistemas 3.Fabricação de Papel I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

DEDICATÓRIA

À minha esposa Rosana, e meus filhos Gabriel e Rafaela, pela paciência e compreensão pelas horas que estive ausente me dedicando a este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em especial, à minha família, pelo amor, companheirismo e incentivo, que muito me apoiam em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, Professor Doutor Augusto Ferreira Brandão Júnior, pela orientação, supervisão, atenção e apoio durante o processo de desenvolvimento desta dissertação.

Ao Professor Doutor Cícero Couto de Moraes, por haver possibilitado a minha participação neste programa de pós-graduação, pela confiança, ajuda e amizade.

A todos os professores do programa de pós-graduação, pois suas aulas contribuíram significativamente para o desenvolvimento desta dissertação.

A empresa em que trabalho, VOITH PAPER, que me proporcionou as condições necessárias para conclusão deste programa de pós-graduação e a realização desta dissertação.

A todos os meus amigos, que através de suas sugestões, críticas e incentivos, puderam cooperar de maneira direta ou indireta à realização desta dissertação.

*"Se eu vi mais longe, foi por estar de pé
sobre ombros de gigantes."*

(Isaac Newton)

RESUMO

O processo de fabricação de papel é uma tecnologia multidisciplinar, na qual a maior parte do processo de produção consiste em uma série de operações e sistemas correlacionados. Com a evolução tecnológica a fabricação de papel moderna passou a ser uma instalação industrial de grande complexidade, com processos e máquinas contínuas de alta tecnologia e elevada capacidade de produção, levando a maioria das indústrias papeleiras no mundo à necessidade de ser controlada por modernos computadores e sistemas de automação. Esta dissertação apresenta a análise da integração do sistema de automação aplicada ao processo de fabricação de papel, visando a integração da automação desde o chão de fábrica até o sistema supervisor, utilizando o modelo da estrutura hierárquica para automação industrial, e a interface de operação. Inicialmente será apresentado o processo de fabricação de papel, em seguida, os sistemas convencionais de automação, na etapa seguinte a estrutura hierárquica do sistema de automação e finalmente o desenvolvimento da integração da automação, abordando a metodologia utilizada, aplicação e benefícios. Dentre os benefícios obtidos destacam-se a estrutura organizada no sistema de automação, a interface de operação amigável, o controle do processo na sala de controle, a disponibilidade dos dados de chão de fábrica na sala de controle, a redução no tempo de solução de anomalias, estabilidade no processo, redução de insumos e refugos.

Palavras-chave: 1. Automação Industrial, 2. Integração de Sistemas, 3. Fabricação de Papel.

ABSTRACT

Papermaking is a comprehensive technology, in which most of the production process consists of a series of related operations and systems. Throughout the technological evolution, modern papermaking has become an industrial plant of great complexity, with continuous high-tech processes and machines, and high production capacity, which lead most paper mills in the world to the need of being controlled by modern computers and automation systems. This dissertation presents the analysis of integrated automation system applied to papermaking process, in order to integrate the automation system in all levels, from operation to supervisory system, using the model of hierarchical structure for industrial automation and operator interface. Initially the process of papermaking will be presented, then, conventional automation systems. The following section will be the hierarchical structure of the automation system and, finally, the development of the integration of automation, covering the methodology, application and benefits. Among the benefits, the organized structure in the automation system, the friendly operation interface, process control in the control room, the availability of plant floor data in the control room, the reduction in solution time anomalies, process stability, reduction of inputs and waste will be highlighted in this work.

Keywords: 1. Industrial Automation, 2. Systems Integration, 3. Papermaking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formação do Papiro.....	20
Figura 2 - Processo básico da fabricação de papel não integrado.....	23
Figura 3 - Exemplificação de diferentes tipos de papéis.	24
Figura 4 – Fluxograma básico do processo de preparação da massa.....	25
Figura 5 – Desagregação.....	25
Figura 6 – Refinador.....	27
Figura 7 - Fluxograma básico do processo do circuito de aproximação.....	28
Figura 8 – Malha de controle consistência, gramatura e caixa de entrada	29
Figura 9 – Máquina de papel.....	30
Figura 10 – Painel elétrico de operação com automação sem integração.....	41
Figura 11 – Fluxo de problemas na fabricação de papel.....	45
Figura 12 – Níveis de hierarquia da automação.....	52
Figura 13 – Modelo de camadas MESA.....	54
Figura 14 – Diagrama hierárquico funcional, modelo ISA S95.....	56
Figura 15 – Produtos fabricados com papel cartão.....	61
Figura 16 – Metodologia para Integração Sistema Automação.....	66
Figura 17 - Arquitetura de hardware do sistema de automação.....	74
Figura 18 - Arquitetura sistema de controle distribuído.....	76
Figura 19 - Unidade Terminal Remota	77
Figura 20 - Arquitetura básica do sistema SCADA com CLP e RTUs.....	80
Figura 21 - Camadas de redes de comunicação.....	82
Figura 22 - Arquitetura em blocos do sistema.....	88
Figura 23 – Tela de grupo da seção das prensas.....	90
Figura 24 - Tela de grupo da seção das telas formadoras.....	90
Figura 25 – Tela de grupo da seção de enrolamento.....	91
Figura 26 – Tela de operação da seção de desagregação.....	92
Figura 27 – Tela do sistema de mistura e controle de consistência.....	92
Figura 28 – Tela da caixa de entrada.....	93
Figura 29 – Tela de operação de movimento de rolos das prensas.....	93
Figura 30 - Tela de operação da área primaria da enroladeira	94
Figura 31 – Tela de operação da Enroladeira	94
Figura 32 – Tela de tendências.....	95

Figura 33 – Tela de consumo do processo	95
Figura 34 – Navegação para tela de alarmes.....	97
Figura 35 – Tela de diagnóstico de intertravamentos.....	98
Figura 36 – Tela dos sistemas de rede	98
Figura 37 – Tela de diagnóstico da rede Ethernet.....	99
Figura 38 - Tela de diagnóstico do CLP e da rede Profibus.....	99
Figura 39 – Tela do sistema de quebra.....	100
Figura 40 – Diagrama de blocos de quebra de folha.....	102
Figura 41 – Estratégia de leitura do scanner.....	103
Figura 42 - Tela de interface de controle longitudinal do papel.....	104
Figura 43 – Diagrama de blocos de controle longitudinal do papel	105

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2	DESCRIÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL DE FABRICAÇÃO DO PAPEL.....	19
2.1	EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	19
2.2	FABRICAÇÃO DO PAPEL.....	22
2.3	PREPARAÇÃO DA MASSA.....	24
2.4	FORMAÇÃO DO PAPEL	30
2.4.1	Caixa de Entrada.....	31
2.4.2	Formação	32
2.4.3	Prensas	32
2.4.4	Secagem	33
2.4.5	Calandra.....	34
2.4.6	Enrolamento	35
2.5	CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO.....	35
3	SISTEMAS CONVENCIONAIS DE AUTOMAÇÃO NA FABRICAÇÃO DO PAPEL.....	38
3.1	REGISTRO DE DADOS.....	38
3.2	VISÃO GERAL DA OPERAÇÃO.....	40
3.3	PROBLEMAS NA FABRICAÇÃO DE PAPEL	42
3.4	RESOLUÇÃO DE FALHAS.....	45
4	ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	47
4.1	DEFINIÇÃO	47
4.1.1	Automação	47
4.1.2	Sistema	47
4.1.3	Integração	49
4.2	INTEGRAÇÃO DA TECNOLOGIA DA AUTOMAÇÃO	51
4.2.1	Manufatura Integrada por Computadores.....	51
4.2.2	Sistema de Execução da Manufatura.....	53
4.2.3	Modelo ISA-S95	55

4.3	REQUISITOS DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO.....	56
5	DESENVOLVIMENTO DA INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO.....	61
5.1	CRITÉRIOS PARA INTEGRAÇÃO	62
5.2	METODOLOGIA UTILIZADA	64
5.2.1	Etapa 1: Escopo	66
5.2.2	Etapa 2: Identificação	67
5.2.2.1	Fase 2.1 – Identificação do processo.....	67
5.2.2.2	Fase 2.2 – Identificação do aspecto físico da planta.....	67
5.2.2.3	Fase 2.3 – Identificação de documentos.....	68
5.2.3	Etapa 3: Especificação	68
5.2.3.1	Fase 3.1 – Especificação e definição do hardware	68
5.2.3.2	Fase 3.2 – Especificação e definição do software.....	69
5.2.4	Etapa 4: Desenvolvimento.....	69
5.2.4.1	Fase 4.1 – Desenvolvimento do projeto de Hardware.....	69
5.2.4.2	Fase 4.2 – Desenvolvimento do projeto de Software	70
5.2.4.3	Fase 4.3 – Programação do CLP e configuração do software SCADA..	70
5.2.5	Etapa 5: Testes Integrados	71
5.2.5.1	Fase 5.1 – Teste funcional do hardware	71
5.2.5.2	Fase 5.2 – Teste e emulação do software	71
5.2.5.3	Fase 5.3 – Teste de validação funcional do sistema.....	72
5.2.6	Etapa 6: Implementação.....	72
5.3	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	72
5.3.1	Arquitetura integrada de hardware	73
5.3.2	Nível 1 - Dispositivos de campo	74
5.3.3	Nível 2 – Controlador Lógico Programável.....	75
5.3.4	Nível 3 – Supervisório	78
5.3.5	Redes de Comunicação	81
5.4	RESULTADOS OBTIDOS.....	88
5.4.1	Interface de operação.....	89
5.4.2	Soluções de problemas	96
5.4.3	Controle de quebra de folha.....	100
5.4.4	Controle de qualidade	102
6	CONCLUSÕES	107

REFERÊNCIAS.....	109
------------------	-----

1 INTRODUÇÃO

Devido a globalização, surge a necessidade do aprimoramento dos processos produtivos. Neste contexto, existe sempre a busca por processos econômicos, eficazes e eficientes, ou seja, é necessário produzir o melhor papel com o menor custo. Para atingir tais objetivos, a primeira escolha está no projeto adequado das unidades industriais, onde, um dos quesitos indispensável é o uso de técnicas de supervisão, controle e automatização dos processos. A indústria papelreira moderna, conta com inúmeros avanços na tecnologia de automação, e com a utilização de controladores lógicos programáveis e sistemas supervisórios vêm buscando a otimização do processo e o monitoramento contínuo ao longo de toda fabricação de papel.

A integração dos sistemas de automação e o uso de softwares avançados, facilitam o gerenciamento a partir de uma única sala de operação, resultando em melhor comunicação e conseqüentemente uma gestão mais eficaz das operações. Além de agrupar as operações no mesmo ambiente, também é possível disponibilizar as informações de cada etapa do processo produtivo com respostas rápidas e precisas.

As novas tendências apontam para uma integração cada vez mais completa da automação com todas as áreas e sistemas da fábrica. Na maioria das indústrias papelreira a integração ainda é parcial, mas, futuramente, o sistema de automação estará totalmente integrado com: o sistema de gestão empresarial ERP¹; gerenciamento de produção MES²; gerenciamento de energia EMS³; sistema de informação gerencial PIMS⁴; entre outros. Desta forma, o acesso a todas as informações do processo estará disponível em um único ambiente, e o operador não terá a necessidade de acessar diferentes sistemas, podendo concentrar-se única e exclusivamente nas informações pertinentes as suas tarefas operacionais.

¹ Enterprise Resource Planning - Planejamento de Recurso Corporativo

² Manufacturing Execution Systems – Sistema de Execução de Manufatura

³ Energy Management System – Sistema de Gerenciamento de Energia

⁴ Plant Information Management Systems - Sistema de Gerenciamento de Informações da Planta

1.1 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo contribuir no estudo da integração do sistema de automação aplicada ao setor papelero, apresentando uma análise do desenvolvimento da integração do sistema de automação industrial aplicado ao processo de fabricação de papel em uma fábrica não integrada com a produção de celulose. Assim, além de processos econômicos, eficazes e eficientes, busca-se, especificamente, a coordenação e o gerenciamento do processo produtivo a partir da sala de operação utilizando um sistema SCADA⁵, onde o operador tem a visão detalhada do processo, proporcionando a monitoração, controle e intervenção do operador de forma adequada durante a fabricação de papel.

A construção deste trabalho tem como base uma comparação dos sistemas convencionais de automação e os estudos que foram realizados durante o desenvolvimento do projeto e a colocação em funcionamento da unidade de fabricação de papel com modernas tecnologias de automação apoiada em computadores e na organização do sistema de automação conforme a estrutura hierárquica da pirâmide de automação, aqui chamada de empresa BETA.

Espera-se que a análise e a metodologia apresentada nesta dissertação possam ser úteis como base para trabalhos futuros na área da integração dos sistemas de automação na indústria papelera, utilizada como referência para o desenvolvimento de futuros projetos visando a integração de sistemas e até mesmo como referência para comparação entre os sistemas convencionais de automação com a aplicação de modernas tecnologias na área.

1.2 JUSTIFICATIVA

A motivação em desenvolver o tema desta dissertação está associada na deficiência e defasagem da automação existente nas empresas papelera, embora existam indústrias que já planejam a migração para tal tecnologia, muitas ainda operam seus processos manualmente ou com automação

⁵ Supervisory Control and Data Acquisition - Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados

estabelecida no chão-de-fábrica, restrita a malhas de controle trabalhando isoladamente.

Atualmente, as novas plantas para fabricação de papel já utilizam sistemas automáticos de controle, porém, se não estiverem devidamente integrados, podem ser os principais causadores de insatisfação, pois não justificará o investimento empregado para tal sistema e também não atingirá o propósito a que se destina.

A integração do sistema de automação além de ser utilizada como ferramenta que permite o controle e a supervisão do processo produtivo, também estabelece uma harmonia funcional do sistema de produção, podendo ser utilizada na organização do trabalho dos operadores e da manutenção, auxiliar na melhoria da qualidade do produto final e ainda disponibilizar os dados do processo produtivo e dos equipamentos para o nível gerencial, contribuindo nas tomadas de decisões. Esta integração consiste basicamente em alocar componentes e sistemas de maneira conjunta levando a um estado de sinergia entre eles.

Existem diversos trabalhos relativos ao tema de automação industrial e tecnologia da automação, entretanto, as suas relações com o processo de fabricação de papel ainda parecem ser pouco abordadas, abrindo espaço para uma área de pesquisa que pode ser melhor explorada, englobando tópicos para a integração de sistemas de automação na fabricação de papel, utilização do sistema SCADA conforme o modelo de estrutura hierárquica para integração da automação e automação voltada para a operação e manutenção.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Após o Capítulo introdutório, que apresenta a introdução, os objetivos, a justificativas e estrutura da dissertação, o Capítulo 2 apresenta uma descrição básica do processo industrial de fabricação de papel, suas etapas, divisões, evolução histórica e as características do processo. Estas são informações importante para posteriormente ser utilizadas na definição da integração do sistema de automação.

O capítulo 3 apresenta os sistemas convencionais de automação ainda utilizados na fabricação de papel, onde os sistemas operam de forma individual com registros de dados feitos manualmente, apresenta também a visão de operação nestas condições e problemas relatados por autores com relação a deficiência de automação.

O capítulo 4 apresenta a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento desta dissertação, como definições e requisitos necessários.

O capítulo 5 apresenta o desenvolvimento da integração do sistema de automação aplicada ao processo de fabricação de papel, expõe os critérios utilizados para integração, a metodologia empregada, apresentado também a aplicação e alguns resultados obtidos.

Por fim, o capítulo 6 finaliza esta dissertação com as conclusões.

2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL DE FABRICAÇÃO DO PAPEL

Neste capítulo será apresentado um resumo da evolução histórica do papel, a descrição do processo de fabricação de papel e suas características.

A descrição do processo está embasada nas referências bibliográficas PAPERMAKING SCIENCE AND TECHNOLOGY publicado em cooperação com o PAPER ENGINEERS' ASSOCIATION AND TAPPI de 1999, o livro Celulose publicado pelo SENAI-SP em 2013 e o livro Papel publicado pelo SENAI-SP em 2014.

2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA

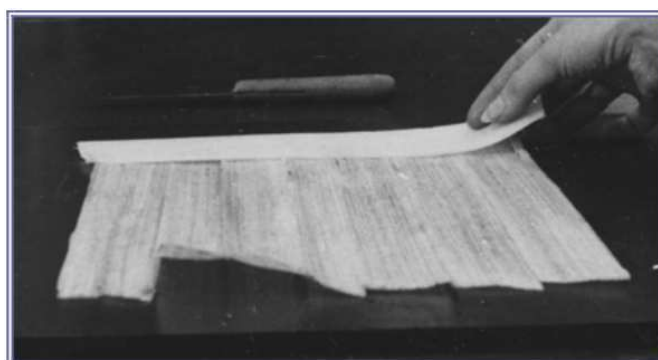
Mesmo antes da invenção do papel, o ser humano já deixava registros de suas atividades através de signos e símbolos nos mais diversos materiais presentes na natureza (rocha, folha, casca e miolo de árvore, bambu, casco de tartaruga, couro, pedra, marfim, papiro, pergaminho) dependendo de sua cultura e de seu grau de evolução. Durante a evolução da escrita, os Sumérios, habitantes da Mesopotâmia, região onde hoje é o Iraque, escreveram sobre placas de argila apenas pictogramas e desenhos esquemáticos, que no decorrer dos séculos se transformaram em ideogramas fonetizados, passando para os caracteres cuneiformes que finalmente converteram-se em sistema convencional de escrita, surgindo desta forma o alfabeto, e conseqüentemente, a escrita, além de um substrato adequado que precedeu o papiro (ROBUSTI et al., 2014).

O papiro, apresentado na figura 1, surgiu no Egito em aproximadamente 3000 a.C., confeccionado com o vegetal de nome científico *Cyperus papyrus*, abundante nas margens do rio Nilo e em outros locais pantanosos do Egito, da Palestina, da Síria e da Sicília (ROBUSTI et al., 2014).

Experimentos e exames do material antigo estabeleceram as principais bases do processo de formação do papiro. Quanto mais baixa a planta, por conseqüência, mais larga, e mais miolo na parte do caule, que era cortado em um comprimento de 40 centímetros onde a casca exterior era removida. O miolo então era cortado em tiras, que eram colocados lado a lado para formar

uma primeira camada, e outras tiras eram então colocadas perpendicularmente em cima da primeira camada para formar uma segunda camada. A folha em processo de formação era então golpeada ou pressionada a fim de ficar mais compacta e uniforme, para formar uma folha homogênea. Ajudada pela seiva natural, contida na planta, durante a pressão aplicada a celulose se fundeu em cada camada, fisicamente e quimicamente, de uma maneira semelhante à formação do papel moderno (LEACH, 2009).

Figura 1 - Formação do Papiro



Fonte: LEACH, 2009

A palavra papiro, do latim *papyrus*, deu origem à palavra papel. O papiro continuou a ser utilizado, mesmo depois do surgimento do pergaminho, até meados do século X.

Segundo ROBUSTI et al., (2014), o pergaminho surgiu em Pérgamo, antiga cidade grega situada no noroeste da Ásia Menor, atual Turquia, próxima à costa do mar Egeu, na região chamada de Mísia, por volta de 2000 a.C., obtido a partir de pele de animal, em especial, carneiro, bezerros ou outros animais. Mais tarde, no ano 1, o processo de preparo foi aperfeiçoado e consistia em três etapas, a retirada das peles e resíduos dos animais, a imersão das peles devidamente raspadas em água e cal, com o intuito de curtirlas e finalmente a secagem das peles ao ar, esfregando-as com gesso em pó e, posteriormente com pedra-pomes, tornando-as adequadas para a escrita. O pergaminho possuía algumas vantagens em relação ao papiro, tinha maior resistência mecânica e maior durabilidade, podia ser cortada em maior

dimensão em relação ao papiro e a escrita podia ser efetuada nas duas faces, além de posteriormente poder ser raspada, para cópia de novas obras.

Nesse processo de evolução muitos séculos se passaram até que no início do século II o papel surgisse na China, com a forma semelhante à que conhecemos hoje. Esse novo substrato, além de possuir características próximas às do papiro, apresentava baixo custo, pois a matéria prima empregada em sua manufatura era abundante.

A maioria dos historiadores concordam em atribuir a Ts’Ai Lun a verdadeira arte de fabricar papel, onde teve sua origem na China em torno de 105 da Era Cristã (ROBUSTI et al., 2014) (“Invention of Paper”,), baseado na descoberta que macerando a parcela interna da casca de amoreira e de cânhamo, bambu, roupas usadas e com a adição de cal, podia obter uma pasta de suspensão diluída das fibras. A pasta era colocada em uma tela revestida com um fino tecido de seda para que o excesso de água escorresse, deixando sobre a tela uma fina folha, que era removida da tela e estendida sobre uma mesa. Esse processo era repetido por diversas vezes, até se juntar uma quantidade suficiente de folha para ser colocadas na prensa. As folhas eram prensadas para perder mais água, e posteriormente, colocadas uma a uma em muros aquecidos pelo sol para a secagem final (BIERMANN, 1996).

A arte da fabricação de papel foi herdada e perdurou por centenas de anos sem nenhuma mudança no seu método de produção, e o papel continuou a ser feito à mão até o começo do século XIX.

Em 1799, o francês, Louis Nicholas Robert, foi o primeiro a patentear um projeto para fabricar papel em máquina de folha contínua (PHILIPP; D’ALMEIDA, 1988a), e a primeira máquina somente foi apresentada na Alemanha por Donkin em 1818, e somente a partir de 1822 estas máquinas começaram a ser comercializadas (PHILIPP; D’ALMEIDA, 1988a) (“Invention of Paper”,).

Na segunda metade do século XIX, quando a madeira substituiu trapos na produção de papel, as máquinas “Fourdrinier” ganharam mudanças importantes. A tecnologia foi aprimorada ao longo do tempo e os avanços na composição química do papel transformaram a sua fabricação, que ganhou

escala industrial, as máquinas se modernizaram e atingiram alto grau de automação e produtividade.

A primeira fábrica de papel no Brasil surge com a vinda da família de industriais portugueses. Localizada no Andaraí Pequeno, Rio de Janeiro, foi fundada entre 1809 e 1810 por Henrique Nunes Cardoso e Joaquim José da Silva. Em 1837 surge a indústria de André Gaillar e em 1841 a indústria de Zeferino Ferrez em Engenho Velho também no Rio de Janeiro (ROBUSTI et al., 2014).

Devido a necessidade de aumentar a fabricação decorrente do aumento da demanda, se fez necessário desenvolver novas matérias primas e novas técnicas para a fabricação do papel, assim, introduziu-se a madeira existente nos troncos das árvores e foram incorporadas as máquinas que permitiam a produção do papel de forma contínua, e não mais em folhas separadas.

2.2 FABRICAÇÃO DO PAPEL

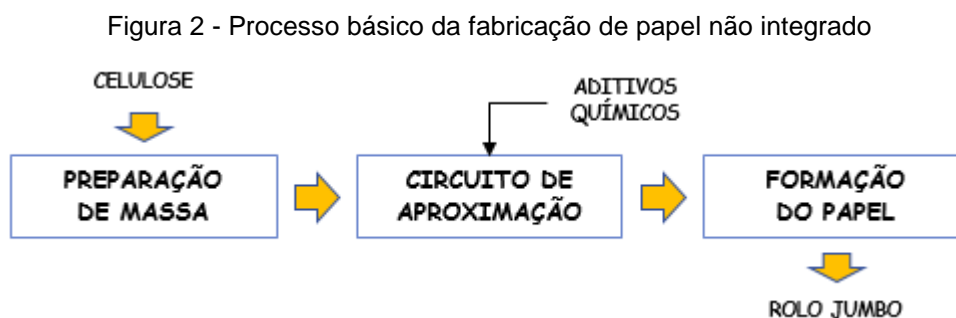
Para ser classificado como papel, as folhas finas devem ser feitas a partir de fibras que foram maceradas até que cada filamento individual seja uma unidade separada, estas fibras misturadas com água passam por uma peneira do tipo tela, onde então são separadas da água pela drenagem através das pequenas aberturas na tela, formando assim uma folha fina de fibras entrelaçadas sobre a superfície da tela. Esta fina camada de fibra entrelaçada é o papel (HUNTER, 1978).

Considerando que a história do papel teve início nos primeiros anos do século II d.C, é interessante dizer que, o processo fundamental desenvolvido pelos chineses para fabricar o papel são relativamente os mesmos utilizados nos dias atuais, porém, a fabricação de papel moderna passou a ser uma instalação industrial de grande complexidade, com processos e máquinas contínuas de alta tecnologia e elevada capacidade de produção, podendo ser dividida em:

- Fábrica de papel integrada a fábrica de celulose;
- Fábrica de papel não integrada a fábrica de celulose;

O processo de fabricação de papel integrada a fabricação de celulose consiste na fabricação de celulose e do papel em uma mesma unidade de manufatura, ou seja, este processo recebe a madeira sob forma de cavacos que será tratada por diferentes métodos para o prepara da pasta de celulose, onde a mesma será bombeada ainda úmida por meio de tubulações até a máquina de papel para ser transformada em uma folha contínua. Porém este processo não é o objeto deste trabalho.

O processo de fabricação de papel não integrada a fabricação de celulose consiste em receber a celulose seca e transforma-la em suspensão fibrosa que em seguida será enviada para o processo de formação do papel. A figura 2, apresenta o diagrama em bloco do processo básico da fabricação de papel não integrado, composto das fases de preparação de massa, do circuito de aproximação e da formação do papel.



Fonte: AUTOR, 2015

Normalmente, o termo papel é associado a produtos do tipo gráfico, porém, no ramo industrial, o papel está dividido em diversas categorias, que possuem diferentes características de acordo com suas necessidades e aplicações, na figura 3 é possível observar alguns desses tipos:

- Papéis Gráficos;
- Papéis Absorventes.
- Papéis Cartão e Embalagem;
- Papéis Especiais;

Figura 3 - Exemplificação de diferentes tipos de papéis.

A) Papel Gráfico; B) Papel Absorvente; C) Papel Embalagem; D) Papel Especial (Térmico).



Fonte: AUTOR, 2015

2.3 PREPARAÇÃO DA MASSA

Preparar a massa para a fabricação do papel não é tarefa simples, pois trata-se de uma complexa sequência de operações que promovem alterações na estrutura das fibras celulósicas, adequando-as às necessidades do papel a ser produzido (ROBUSTI et al., 2014).

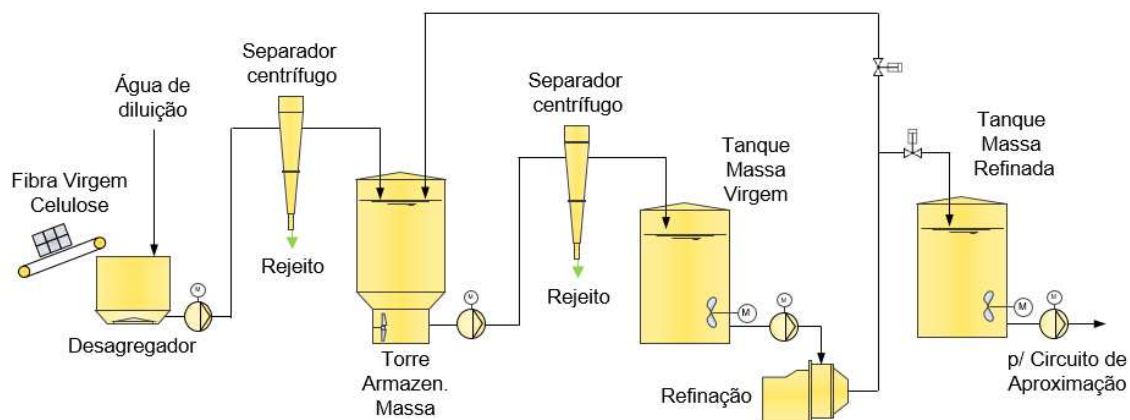
Nesta etapa do processo, a matéria prima fibrosa é submetida a tratamentos mecânicos, físico-químico, à adição de produtos químicos e outros componentes fibrosos ou não fibrosos necessários à fabricação do papel, com características e propriedades específicas para cada tipo de papel a ser fabricado (ROBUSTI et al., 2014) (JUDASZ, 2009).

O preparo da massa é o conjunto de ações que antecedem a formação do papel e visa propiciar às fibras todas as condições para satisfazer os parâmetros de qualidade do produto final, portanto, não existe um sistema de preparo de massa padrão, as diferentes fases do processo e os tipos de equipamentos utilizados, são determinadas para atuar de diferentes formas, de acordo com o tipo de matéria-prima e com o tipo do papel a ser fabricado.

O papel é essencialmente constituído por fibras de celulose de diferentes tamanhos que se entrelaçam umas com as outras. As fibras chegam

ao sistema de preparação da massa em fardos ou blocos provenientes da fábrica de celulose.

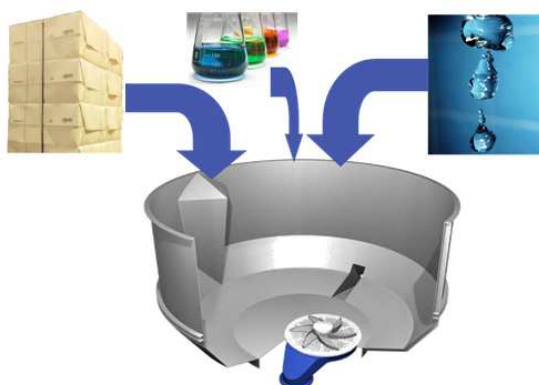
Figura 4 – Fluxograma básico do processo de preparação da massa



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

Conforme apresentado na figura 4, o processo de preparação da massa tem início quando os fardos ou blocos de celulose virgem passam por um processo de desagregação, ou seja, a separação das fibras através da ação de um elemento mecânico sobre o fardo e adição de água, com a possibilidade de inclusão de aditivos químicos conforme receita necessária para a fabricação do papel.

Figura 5 – Desagregação



Fonte: AUTOR, 2015

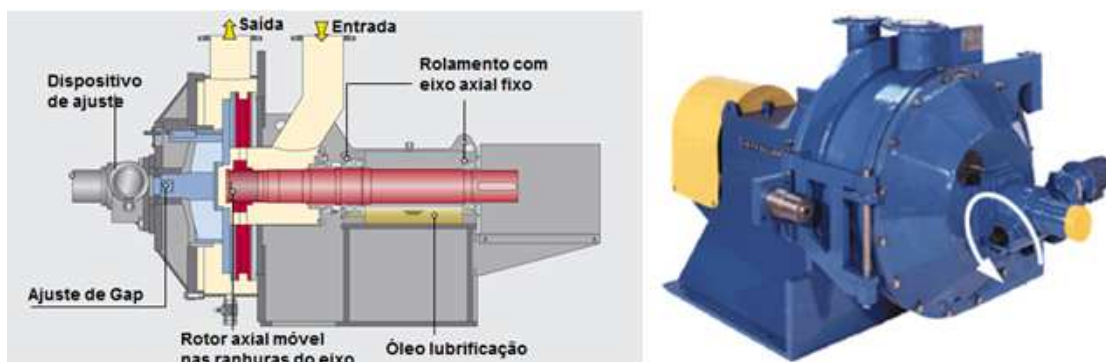
Com a desagregação do fardo de celulose, figura 5, forma-se uma massa homogeneizada com baixa consistência que será bombeada posteriormente para a torre de armazenamento da massa, passando por estágios de limpeza por separação centrífuga. Em seguida, a massa será bombeada da torre de armazenamento para o tanque de massa virgem, passando novamente por estágios de limpeza por separação centrífuga.

Os separadores centrífugos têm como objetivo separar de forma contínua materiais estranhos ao papel presente na suspensão da massa. Esses materiais são partículas de sujeira de elevada massa específica, ou seja, impurezas que são especificamente mais pesadas do que a água. Tratam-se, sobretudo, de grãos de areia, lascas finas de vidro, metais e outros (COMMISSION, 2001). Em seguida a massa é bombeada para o tanque de massa refinada passando pelo processo de refinação, uma das etapas de suma importância para proporcionar as características e qualidade da folha de papel.

O processo de refinação é o tratamento mecânico que modifica irreversivelmente as características das fibras, tende a aumentar a flexibilidade, a fibrilação interna e externa, a formação de finos e o encurtamento das fibras, concedendo ao material fibroso uma estrutura adequada em função das características desejadas no papel a ser fabricado (ROBUSTI et al., 2014) (PHILIPP; D'ALMEIDA, 1988b).

Estes fatores tornam as fibras ramificadas que se entrelaçam com mais facilidade umas às outras, aumentando as forças de ligação entre as fibras que vão compor a folha de papel, com isso, o produto final ganha resistência à tração, perde porosidade e tem um perfil mais homogêneo, todas estas características em função do grau de refinação (SÉKULA, 2011) (MENDES, 2006).

Figura 6 – Refinador



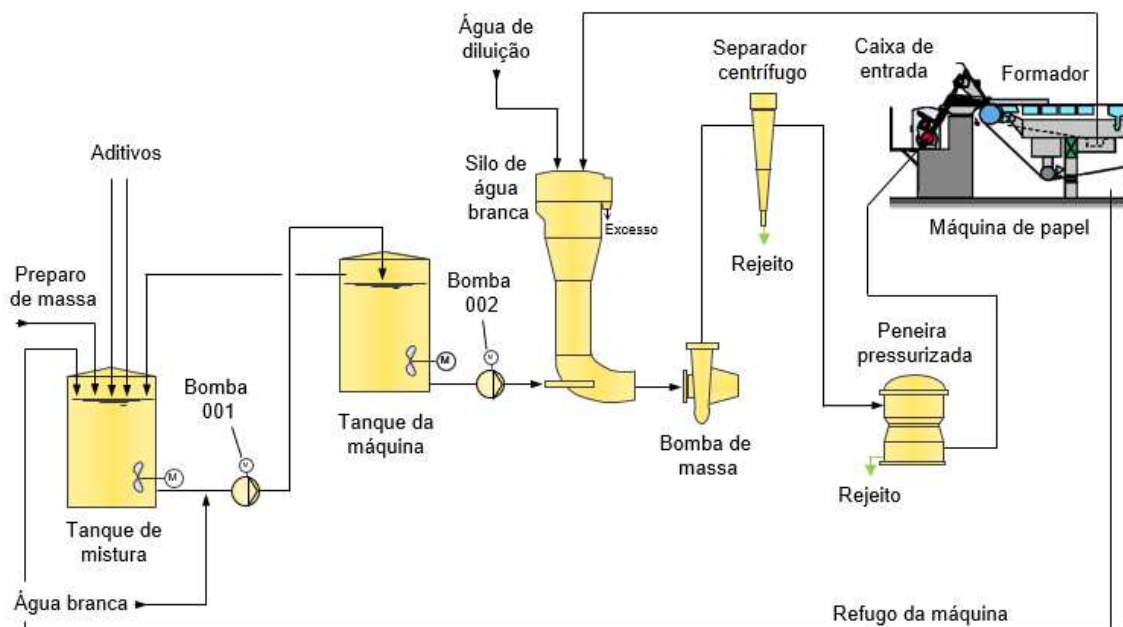
Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A pressão de alimentação do refinador é regulada e supervisionada pelo controlador. Esta pressão atua sobre o controle de rotação da bomba de massa através de uma malha de controle que gera a referência para o inversor de frequência. O refinador, figura 6, possui um motor auxiliar para avanço e recuo do disco, transmissor de pressão na entrada e saída da massa, transmissor de vazão da massa refinada e válvula de água para limpeza.

Após o processo de desagregação, limpeza e refinação, a massa refinada será bombeada para o processo que antecede a formação do papel, também conhecido como circuito de aproximação ou *approach flow*.

A figura 7 apresenta o fluxograma básico do processo do circuito de aproximação que consiste no elo entre a preparação de massa e a máquina de papel, podemos observar que o silo de água branca recebe a massa proveniente do tanque da máquina com consistência situada geralmente, na faixa de 2% a 4% e após a mistura, é diluída apresentando valores que podem variar de 0,1% a 1,5% aproximadamente, a partir deste ponto a massa é chamada de suspensão fibrosa (ROBUSTI et al., 2014).

Figura 7 - Fluxograma básico do processo do circuito de aproximação



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

Esta etapa tem como objetivo realizar a diluição da massa refinada de forma a manter a homogeneidade na consistência e a limpeza da massa através do separador centrífugo e peneira pressurizada, onde operam em um sistema completamente enclausurado, garantindo a equalização do fluxo da suspensão fibrosa sem causar qualquer tipo de pulsação, reduzindo ao mínimo as variações provenientes do processo de preparação de massa (ROBUSTI et al., 2014) (JUDASZ, 2009) (NUNES, 2007). Outras características importantes do circuito de aproximação é o controle de consistência⁶, o controle de gramatura⁷ do papel e o controle de pressão interna da caixa de entrada.

O controle de consistência, consiste na diluição da massa em água, o transmissor de consistência GT01 envia o sinal para o controlador e através do algoritmo de controle gera o valor de referência para válvula de controle GCV01 que conseqüentemente adiciona água para diluição na sucção da bomba 001, mantendo a consistência dentro da faixa desejada em função do papel a ser produzido.

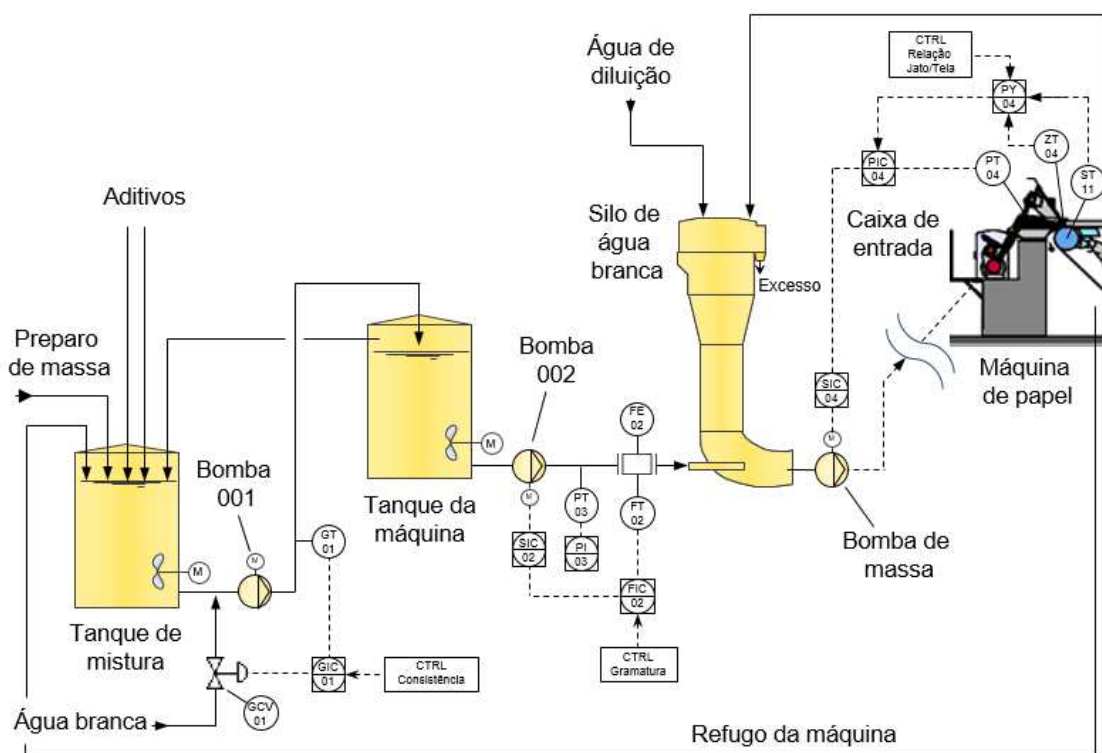
⁶ Consistência é a percentagem de material sólido seco absoluto contido na massa.

⁷ Gramatura é a massa por unidade de área do papel, expressa em gramas por metro quadrado (g/m^2).

O controle de gramatura, corresponde na retirada da massa do tanque da máquina, onde o transmissor de fluxo FT02 envia o sinal para o controlador que compara com demais valores do processo e através do algoritmo de controle gera o valor de referência para o inversor de frequência SIC02 da bomba 002, que envia a massa para diluição no silo de água branca.

A figura 8 apresenta as malhas de controle da consistência, gramatura e caixa de entrada.

Figura 8 – Malha de controle consistência, gramatura e caixa de entrada



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A pressão interna da caixa de entrada é controlada mediante a variação da rotação da bomba de massa, o transmissor de pressão PT04 envia o sinal para o controlador e através do algoritmo de controle gera o valor de referência para o inversor de frequência SIC04 da bomba de massa, ou seja, quando a pressão da caixa de entrada diminui, a bomba de massa aumenta sua velocidade de rotação e quando a pressão na caixa de entrada aumenta, a

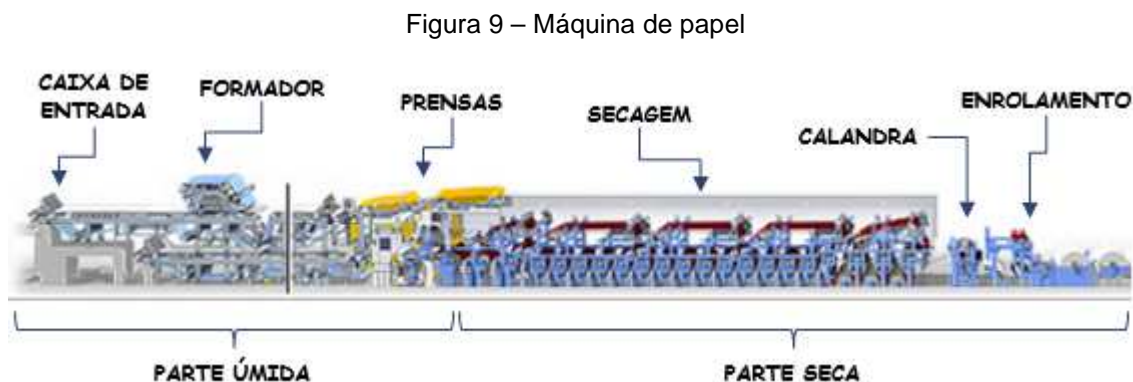
bomba de massa diminui sua velocidade de rotação, mantendo assim, a relação jato/tela constante, este controle necessita de parâmetros vindos do controle da máquina de papel como a velocidade da tela ST11, a abertura do lábio ZT04 e a referência da relação jato/tela PY04.

Após a preparação e diluição da massa o próximo passo é a formação do papel onde a suspensão fibrosa é entregue a máquina de papel através da caixa de entrada que faz a conexão entre o circuito de aproximação e a máquina de papel.

2.4 FORMAÇÃO DO PAPEL

O processo definitivo da formação da folha de papel tem início quando a suspensão fibrosa proveniente do preparo de massa é entregue ao primeiro componente da máquina de papel, a caixa de entrada. A massa e os aditivos são misturados nesta suspensão com concentração menor que 1,5%, a qual é distribuída sobre uma tela formadora para desaguamento.

Após o desaguamento no formador, a folha passa por prensas para retirada da maior quantidade de água possível antes de seguir pelos cilindros secadores, em seguida para melhorar o acabamento superficial a folha segue para os cilindros de calandragem, e uma vez o papel seco é enrolado continuamente em bobinas chamadas de jumbo.



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A máquina de papel, figura 9, é o conjunto de equipamentos ordenados em seções que permitem a formação do papel e é capaz de produzir uma folha de papel de largura determinada e um comprimento infinito quando em operação contínua.

O projeto básico da máquina de papel consiste em dois processos principais denominados parte úmida e parte seca. A parte úmida tem o objetivo de formar a folha e remover a água, sendo constituída pela caixa de entrada, formador e prensas. A parte seca tem como objetivo elevar o teor seco do papel, promover acabamento superficial na folha e enrolar o papel seco de forma contínua, a parte seca é constituída pela secagem, calandra e enrolamento.

2.4.1 Caixa de Entrada

A função da caixa de entrada é distribuir a massa fibrosa em suspensão, ao longo de toda a largura da máquina, a um fluxo com volume constante, quanto ao tempo e ao ponto de incidência na zona de formação da folha, com concentração uniforme do material fibroso e espessura adequada da suspensão (LINDSTRÖM, 2008) (HENTINEN, 2010).

A caixa de entrada recebe a suspensão fibrosa, proveniente da preparação da massa e a distribui na tela formadora, em forma de jato, para isso, a máquina é operada com sistema de controle, onde possibilita que a relação entre a velocidade do jato e a velocidade da tela formadora da máquina seja determinada pelo operador em função do papel produzido. A relação jato/tela é a diferença da velocidade entre o jato da suspensão fibrosa que saía da caixa de entrada e a velocidade da tela formadora. Na figura 9 observamos a malha de controle da velocidade do jato, a estratégia utilizada para controlar a velocidade do jato é o controle de pressão interna na caixa de entrada através da variação de velocidade na bomba de mistura da caixa de entrada (MORAES; PESCIO, 2010).

O método de operação da caixa de entrada determina acentuadamente a qualidade da folha de papel, a capacidade produtiva e o grau de eficiência da máquina de papel. (LEACH, 2009)

2.4.2 Formação

A seção de formação utilizada na máquina consiste de uma tela sem fim que escorrega sobre uma série de elementos desaguadores proporcionando um desaguamento gradativo, contínuo e suave, suportada em uma estrutura física e adequada para tal operação, esta é a primeira etapa da formação da folha de papel.

A formação da folha ocorre devido à suspensão das fibras de celulose que são colocadas ao longo da tela formadora pelo jato proveniente da caixa de entrada com consistência variando em média de 0,1% a 1,5% de fibras, enquanto percorre sobre a tela formadora, parte da água escoar por forças gravitacionais e parte é sugada pela ação do vácuo das caixas de sucção, durante este processo as fibras começam a aderir umas às outras formando uma espécie de tecido com fios muito pequenos e trançados entre si, dando início a formação da folha de papel. Quando a folha de papel deixa a seção de formação o índice de sólidos seco é de aproximadamente 20% (PHILIPP; D'ALMEIDA, 1988a) (NUNES, 2007).

Em máquinas com formador tipo DuoFormer, pode-se conseguir um desaguamento praticamente simétrico nas duas faces do papel, isto devido a ação de sucção das caixas formadoras inferior e superior, e pela pressão das régua sobrepostas da caixa de formação inferior e da caixa de sucção superior, as quais provocam forças de cisalhamento na suspensão que se encontra no sanduíche tela-suspensão-tela, minimizando assim a formação de flocos de fibras. Em decorrência do desaguamento bilateral, obtêm-se papéis com o mesmo teor de fibras em ambas as faces, o que é uma condição para a igualdade entre as faces do papel, caracterizando uma melhor formação e conseqüentemente um papel com melhores características.

Após a seção de formação a folha é transferida para seção das prensas.

2.4.3 Prensas

A seção das prensas é constituída por rolos de pressão, caixas de vácuo, feltros e rolo pick-up que é responsável por retirar e transferir a folha da seção de formação para a seção de prensas. Esta seção tem como objetivo

remover a água do papel através da compressão mecânica, entre os rolos prensas e feltros, promovendo a consolidação da estrutura da folha, tornando-a uma folha com teor sólido seco em torno de 50%, e em seguida submetê-la a secagem por calor (HENTINEN, 2010). Além disso, a seção pode proporcionar a melhora da lisura da folha de modo a eliminar as marcas deixadas pela tela formadora, aumentar a densidade e a redução do volume específico, melhorando a operacionalidade na área de secagem (HAMAGUCHI, 2007). A capacidade da prensa em desempenhar estas funções, sem causar danos ao papel, como esmagamento, perda de finos, rearranjo das fibras e enrugamento depende do projeto da prensa, do feltro e das características operacionais (NUNES, 2007).

Existem diversos tipos de prensa para a utilização na máquina de papel, cada uma possuindo características específicas, vantagens e limitações, que são definidas de acordo com a configuração da máquina, do material processado e do produto final que se deseja obter.

2.4.4 Secagem

A seção de secagem consiste de um grande número de cilindros rotativos de ferro fundido, aquecidos a vapor, podendo ser seguidos por uma tela sintética permeável denominada tela secadora. Os cilindros são divididos em grupos secadores, onde a pressão do vapor pode ser controlada individualmente, em cada grupo, ao ajustar a pressão do vapor estamos ajustando o fluxo de calor para o papel e conseqüentemente controlamos a umidade do papel na saída da secagem (AKESSON; SLATTEKE, 2006). O controle de pressão do vapor é proveniente do sistema de vapor e condensado, cuja finalidade é fornecer o vapor aos cilindros secadores, elevar a eficiência da secagem, possibilitar a curva de aquecimento, garantir a drenagem dos secadores e o teor seco do papel.

Durante a passagem da folha pelos cilindros secadores, a folha é submetida à superfície aquecida dos cilindros, assim a água é evaporada e o papel atinge valores de umidades da ordem de 3% a 8%. Esta evaporação deve ocorrer de forma que irá produzir uma folha seca de alta qualidade, a uniformidade de evaporação no sentido transversal ao da máquina é um dos

parâmetros mais crítico. Qualquer variação na evaporação transversal irá produzir uma variação indesejável no perfil de umidade da folha, e outras propriedades podem ser afetadas, como, por exemplo, a propriedade de tração da folha.

Máquinas projetadas para alta eficiência de secagem, geralmente são providas de uma cobertura em toda a extensão da secagem, denominadas como capotas, com a finalidade de capturar a água evaporada na seção de secagem e removê-la para fora do edifício através de exaustores. O tratamento adequado do fluxo de ar dentro desta seção é de fundamental importância no funcionamento geral da máquina influenciando na eficiência, capacidade de produção, consumo de energia e na qualidade do produto.

A quebra da folha na seção da secagem durante a operação é um dos principais contribuintes para a perda de tempo e de produção na máquina de papel. Este é um dos problemas de maior preocupação com a operação das modernas máquinas de papel de alta velocidade.

2.4.5 Calandra

A calandra é um equipamento da máquina constituído por rolos metálicos, suportados por uma estrutura e por dispositivos que permitem o controle de pressão de encosto entre os rolos de modo independente.

A principal função da calandra é melhorar as características superficiais da folha, tais como lisura, brilho e auxiliar no controle do perfil de espessura e densidade do papel. Esses efeitos são obtidos através de pressão e fricção entre os rolos, com grande dureza e superfície polida (MENDES, 2006) (ROBUSTI et al., 2014).

Existem diversos tipos de calandra, variando desde a quantidade de rolos, configurações até à sua localização na máquina, cada qual possuindo características específicas, vantagens e limitações, que são definidas de acordo com a configuração da máquina, do material processado e do acabamento que se deseja obter no papel.

2.4.6 Enrolamento

Considerado o último elemento da máquina de papel, a seção de enrolamento está associada ao processo contínuo de fabricação e tem a função de transformar a folha em unidades finitas e independentes, que permitirão o processamento e a utilização do papel. A enroladeira deve produzir bobinas de papel com o maior diâmetro possível e com densidade de enrolamento uniforme, a fim de facilitar a manipulação e a utilização posterior dessas bobinas (ROBUSTI et al., 2014).

2.5 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

Podemos encontrar diversas definições para processo, dentre as mais tradicionais, segundo definição dos dicionários Aurélio e Michaelis, processo é a sucessão de mudanças, um termo utilizado para descrever uma série de ações sistemáticas visando o acerto de resultado, são métodos, técnicas ou modo por que se realiza ou executa uma determinada coisa. Definimos também o termo processo como uma sequência de acontecimentos interligados que estão relacionados entre si, que em cada etapa consomem recursos variados para converter uma ou mais matérias primas em um elemento final. Como exemplo, podemos fazer referência ao processo de produção de papel.

Um processo pode variar de acordo com a tipologia de análise do mesmo, o termo processo contínuo, para caracterizar um determinado tipo de processo, podendo também ter distintos significados de acordo com a atividade profissional dos que o usufruem em suas explicações.

Para GOMES, (2003) o processo contínuo de transformação é utilizado para produzir artigos altamente padronizados em volumes extremamente grandes. Em alguns casos, esses artigos se tornaram tão padronizados que não existe praticamente diferença entre os produtos de empresas distintas (GOMES, 2003).

Segundo KEMPENICH, (2009) as indústrias de processo contínuo são as que normalmente trabalham com produtos simples e com pouca variabilidade, mas que são produzidas em altos volumes. Os produtos

geralmente passam pela mesma rota determinada, utilizando equipamentos especializados e dedicados exclusivamente ao seu processo.

PINTO, (2000) apresenta a colocação de autores como (WOODWARD, 1977; BUFFA, 1979; WILD, 1979; RUSSOMANO 1979) que as definições para processo contínuo variam desde uma padronização de insumos e equipamentos, passando pelo grau de repetição das operações e volume de produção. Seguindo na mesma ideia, para os autores (TOLEDO; FERRO; TRUZZI, 1986) as principais características tecnológicas presentes nas indústrias de processo contínuo são:

- A invisibilidade das matérias-primas e dos insumos que, ao entrarem no processo de fabricação não são facilmente distintos ou divisíveis entre si e em relação ao produto final. Isto decorre de um processo de produção ser constituído de uma série de misturas de reagentes e de reações física e química com alterações de parâmetros tais como a temperatura, pressão, volume, nível, densidade e velocidade que influenciam, de modo sucessivo ou simultâneo, para obtenção do produto final.
- Alto nível de integração entre equipamentos, onde os mesmos têm a característica de ser totalmente interligado e interdependente, permitindo modificações e alteração no sequenciamento da produção.
- A possibilidade de centralizar o controle do processo, que pode estar localizado junto ao equipamento, localizados em pontos estratégicos das instalações e requer atenção do operador para zelar sobre a correta aceitação dos parâmetros pré-definidos e corrigí-los quando for necessário. Uma vez que a interação da mão-de-obra com processo é reduzida e quase toda submetida à intermediação por equipamentos, o controle do processo possibilita reunir as informações captadas pelos instrumentos de controle num lugar central como uma sala que abriga equipamentos para uma possível intervenção de operadores. A lógica desta centralização está no fato de que através dela tornam-se maiores as possibilidades de diminuir o tempo necessário à correção de algum parâmetro ou de alguma anomalia ocorrida. Quanto menores os intervalos de anomalia, maior produtividade fornecerá a planta industrial em questão.

Em relação a operação, TOLEDO; FERRO; TRUZZI (1986), relata a não dependência direta entre o ritmo de trabalho e a produtividade, talvez seja a característica mais essencial à compreensão da lógica de operação de um processo contínuo. O ritmo de produção obedece muito mais à performance e ao rendimento das instalações e dos equipamentos como um todo, ao invés de depender diretamente do ritmo de trabalho da mão de obra. Se o equipamento trabalha dentro dos parâmetros preestabelecidos e sem a ocorrência de falhas obtém-se alta produtividade, com o desempenho do equipamento tendendo à sua capacidade nominal.

Desta maneira, em relação ao tipo de produção, a indústria papelreira incorpora em maior parte de seu processo características comuns às indústrias de processo contínuo, embora não seja classificada totalmente desta maneira, a fabricação de papel possui determinadas características tecnológicas, econômicas e de organização do trabalho que a colocam nesta classificação.

Seguindo este mesmo contexto, porém do ponto de vista em relação ao tipo de automação e controle, a indústria papelreira incorpora em maior parte de seu processo características comuns aos sistemas híbridos, pois necessitam de controle para as variáveis contínuas, ou analógicas (vazão, pressão, nível, temperatura, umidade), porém, necessitem também de sistemas de controle que trabalhem com estados e eventos discretos, ou seja, dispositivos com variável binária ou booleana, para identificar ciclos de funcionamento, a ocorrência de eventos simultâneos, sincronização e intertravamentos.

3 SISTEMAS CONVENCIONAIS DE AUTOMAÇÃO NA FABRICAÇÃO DO PAPEL

Neste capítulo será apresentado o sistema de automação convencional ainda encontrada nas indústrias de fabricação de papel.

Embora existam plantas papeleiras, que já planejam a migração para a integração do sistema de automação, muitas empresas ainda operam seus processos com automação estabelecida no chão-de-fábrica, restrita a malhas de controle trabalhando isoladamente, tornando o processo de fabricação em áreas isoladas e operando manualmente sem qualquer tipo de integração.

Tradicionalmente a metodologia utilizada para operação destas plantas indústrias está baseada na observação do operador, ou seja, o processo de operação necessita da interferência constante do operador, o qual é responsável por monitorar e supervisionar as variáveis do processo, intervindo de forma corretiva para adequá-las as características da produção industrial. Se por algum motivo isto não for possível, o setor de operação solicita a intervenção do setor de manutenção.

Conforme informado por SÉKULA (2011), é possível verificar que ainda existem empresas que não possui automatização de seus processos produtivos, sistemas com pouca instrumentação e sistemas com automação ultrapassada, este tipo de processo apresenta dificuldades de operação, falta de visibilidade do processo, retardo na solução de problemas e dificuldade em manter a produção uniforme e na qualidade exigida, representando perdas de produção significativa para qualquer indústria (LIMA et al., 2014).

3.1 REGISTRO DE DADOS

Na maioria dos casos, o registro de dados é feito de forma manual, onde o responsável pelo controle de dados necessita recolher as informações ou planilhas preenchidas manualmente, pelos operadores, com os dados do processo. Os registros de falhas normalmente são feitos pelo pessoal da manutenção, através das informações das ocorrências de manutenção no processo de fabricação, onde são registradas as falhas de equipamentos como sensores, motores, válvulas, barreira de luz, célula de carga, inversores de

frequência e também desvios de operação. Este tipo de processo dificulta a coleta de dados, a padronização de um procedimento de coleta, tornando as informações incoerente e inconfiável, pois os dados são imputados manualmente provocando dúvidas na credibilidade do banco de dados, além de não possibilitar a atualização do banco de dados em tempo real⁸, uma vez que existe um atraso em seu carregamento.

HAMAGUCHI (2007), ressalta a importância da coleta de dados e históricos de informação do processo para suas análises, parte dos dados foram coletados nas telas do SDCD⁹ e dados não disponíveis, foram extraídos de históricos de produção, baseados na experiência de operadores e engenheiros de cada área.

Segundo SÉKULA (2011), a falta de registro das técnicas utilizadas dentro da unidade industrial pelos indivíduos aliada a grande oscilação na produção, ocasiona vulnerabilidade às empresas e o conhecimento gerado fica retido nos indivíduos, sem nenhuma forma de registro que venha a proporcionar uma análise da operação realizada.

Conforme apresentado por JÚNIOR (1993), um dos métodos mais eficiente de manutenção preditiva está baseada no monitoramento e registro da condição do equipamento, a operação inadequada ou fora de especificação da máquina poderá levar a irregularidades no revestimento dos cilindros, também conhecido como efeito das corrugações. Para BARBOSA (2004), com o registro e a criação de um histórico dos problemas e das anomalias que ocorrem durante o dia-a-dia permite que o nível da supervisão estude o problema para propor soluções.

Neste mesmo contexto, FRIAS (2013) e PASSOS (2009), relatam a importância das ferramentas de monitoramento em tempo real com a finalidade de avaliação do desempenho de malhas de controle, no monitoramento do funcionamento de elementos de medição (transmissores), atuação (válvulas e motores) e monitoração (foto células), de uma malha de controle, de calcular índices para qualificação de desempenho, gerar alarmes e notificações para

⁸ Podemos dizer que um sistema é de tempo real quando o atraso de seus equipamentos não apresenta efeitos significativos ao processo controlado.

⁹ Sistema Digital de Controle Distribuído

auxiliar no diagnóstico de falhas, auxiliando de alguma forma a manutenção corretiva e preventiva.

3.2 VISÃO GERAL DA OPERAÇÃO

Normalmente a operação do processo de fabricação de papel, pode ser realizada através de painel sinótico, mesa de controle e painel de operação, com comandos centralizados e localizados em pontos estratégicos favorecendo a operação. Estes painéis são constituídos de instrumentos e equipamentos possibilitando a interface do operador com o processo produtivo, seja para monitoração, controle ou comando. Para estas finalidades utilizam-se com frequência anunciadores de alarmes, sinaleiros, quadro sinóticos, chaves seletoras, botoeiras que permitem comandar ou visualizar estados definidos como ligado e desligado, alto e baixo, temperatura elevada ou normal, válvulas aberta ou fechada e *displays* que permitem visualizar os valores das variáveis do processo, bem como alterar parâmetros pré-definidos, e quando o processo está provido de sistema de automação pode-se utilizar a IHM¹⁰, traduzindo os sinais vindos do CLP¹¹ para sinais gráficos, de fácil entendimento para o operador. A configuração da disposição dos dispositivos de comando no painel é extremamente importante, pois o *layout* e a organização do painel de controle são essenciais para ajudar o operador entender as condições do processo.

Mesmo em sistemas convencionais, é sempre natural a busca por processos econômicos, eficazes e eficientes, produzindo o melhor papel com o menor custo possível. Neste contexto, e com a evolução do processo de fabricação de papel, o monitoramento e controle das operações do processo tornam-se complexa e limitada, enquanto a unidade está produzindo normalmente, as variáveis do processo encontram-se praticamente estáveis, sendo controladas com relativa facilidade pelo operador, entretanto, durante as alterações no processo, seja por anomalia, paradas e partidas, o processo tem suas variáveis alteradas constantemente, podendo levar tempos para atingir a estabilidade, tornando o controle efetuado pelo operador cada vez mais crítico.

¹⁰ Interface Homem Máquina

¹¹ Controlador Lógico Programável

De modo geral, a sequência de operação é executada junto aos painéis de operação, que normalmente estão espalhados pelo processo e pela máquina. Na figura 10¹² é possível verificar tais painéis de operação com os elementos de alarme, sinalização, comando e posicionadores eletrônicos, para controlar equipamentos do processo e da máquina, a figura também apresenta a interface de operação com equipamentos automatizados que são operados de forma isolada e independente, como uma mesa de controle com diversos monitores e painéis sinóticos com informações do processo de fabricação.

Figura 10 – Painel elétrico de operação com automação sem integração



Fonte: AUTOR, 2015

¹² Imagens de máquinas em pleno funcionamento nos dias atuais

Na figura 10 também é possível verifica que algumas fábricas foram projetadas com sistemas automatizados, e outras a incluíram no decorrer dos anos na tentativa de minimizar a falta de automação no projeto original, porém não encontramos qualquer tipo de integração entre os sistemas instalados e todo banco de dados é alimentado de forma manual, não transmitindo confiança nas informações nele contido. Porém é possível observar que alguns sistemas utilizam troca de dados somente para possibilitar o intertravamento entre os equipamentos priorizando tanto a segurança do equipamento quanto pessoal.

Na indústria de fabricação de papel, os painéis de controle são especialmente desenhados para cada processo, onde a disposição dos comandos segue regras básicas desenvolvidas ao longo de diversos projetos de máquinas e através de dados empíricos extraídos dos operadores.

3.3 PROBLEMAS NA FABRICAÇÃO DE PAPEL

Segundo SILVA (2010b), o controle e monitoramento para manter a estabilidade do pH na fabricação de papel é fundamental para um bom controle de adição de produtos químicos e estabilidade da drenagem da máquina de papel, um pH inadequado influencia diretamente nos processos de drenagem da mesa plana, retenção de finos e carga da folha, depósito químicos ou microbiológicos e geração de espuma no processo, e ainda causa alteração na propriedade de resistência à flexão da folha.

Conforme SÉKULA (2011) e SILVA (2010a), problemas no pH durante o processo de preparo da massa interfere diretamente ou indiretamente na qualidade do papel, a correção do mesmo ajudará na colagem, no tingimento das fibras e no controle dos parâmetros operacionais.

Para SÉKULA (2011), a quebra da fibra pelo processo de refinação é uma importante etapa para o preparo da fibra e formação da lamina de papel, proporcionando a melhoria das características de resistência da folha de papel. A gramatura do papel afeta a maioria das propriedades, principalmente as mecânicas e as ópticas. Para facilitar uma comparação, é comum relacionar algumas propriedades à gramatura, como, por exemplo, o índice de tração que

é o quociente entre a resistência à tração e a gramatura. A umidade é um fator que deve ser acompanhado durante o processo produtivo, pois tem grande influência no produto final.

HAMAGUCHI (2007), relata alguns problemas encontrados durante sua tese, como, a refinação inadequada leva a problemas de resistência à tração e resistência ao rasgo, o método de operação da caixa de entrada determina acentuadamente a qualidade da folha de papel, a capacidade produtiva e o grau de eficiência da máquina de papel, a seção de prensagem é importante para remoção da água da folha e também proporciona lisura, aumento da densidade e operabilidade da folha na secagem.

Segundo artigo técnico apresentado na revista O Papel, o monitoramento e o controle do grau de refinação promovem benefícios na drenagem durante a formação da folha (ROCHA; ARMANI; PIIRAINEN, 2006).

Segundo artigo apresentado na Revista Engenharia Elétrica (2014) e LIMA et al. (2014), a consistência da massa é uma das variáveis responsável pela qualidade do papel produzido (LIMA et al., 2014).

O livro PAPEL (2014) no capítulo 6 CELULOSE E PAPEL: ENSAIOS TECNOLÓGICOS EM PAPÉIS, apresenta os possíveis fatores que podem causar problemas durante a fabricação de papel;

- Problemas no controle da refinação afetam a resistência ao arrebatamento, resistência superficial da folha, resistência ao rasgo, espessura da folha, densidade aparente, volume específico aparente, resistência a dobra duplas, resistência à flexão, resistência a tração, resistência ao esmagamento, permeância ao ar, opacidade e alvura do papel (ROCHA; ARMANI; PIIRAINEN, 2006).

- Problema no controle de pH influencia nos afeitos primários da refinação, na coloração do papel, se for excessivamente ácido, pode retardar a secagem de tinta, e é causa para a degradação do papel, diminuindo sua vida útil, se for excessivamente alcalino, pode provocar o emulsionamento entre água e tinta. Um pH inadequado na massa também é um dos motivos na corrosão de equipamentos expostos a uma acidez ou alcalinidade excessiva.

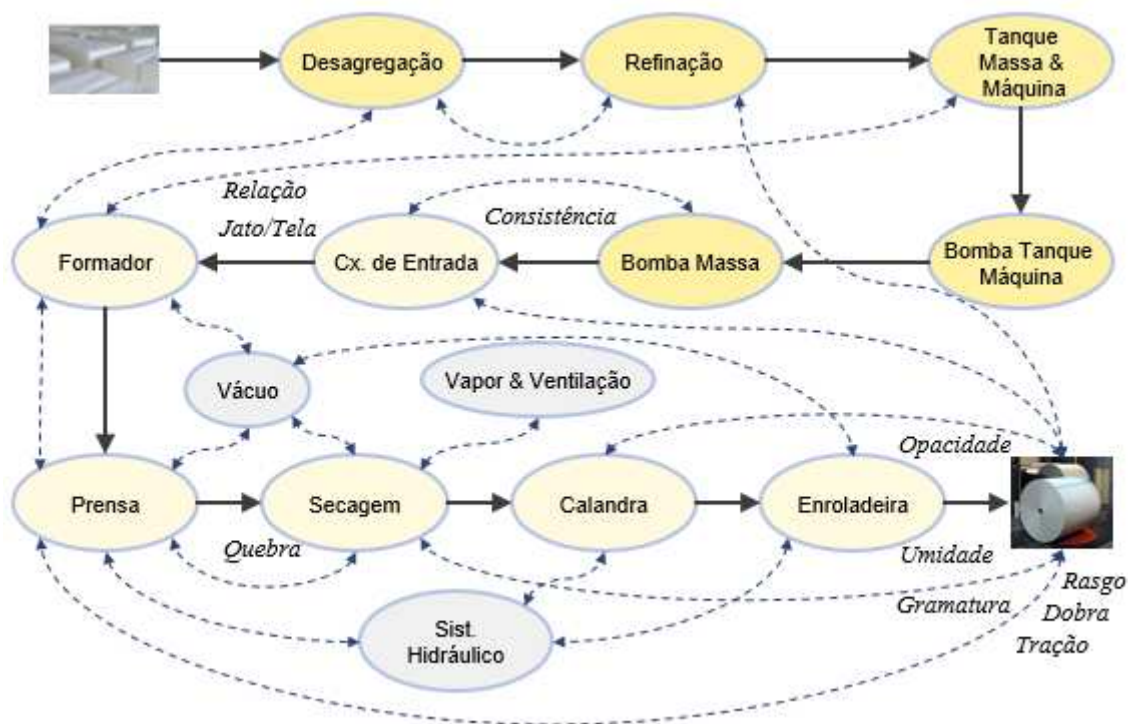
- Problema no controle de gramatura altera as características mecânicas do papel, compromete a opacidade e a resistência ao arrebentamento.
- Problemas na formação afetam o teor de umidade na saída da formação e resistência a tração.
- Problemas no controle de pressão das prensas afetam o teor de umidade do papel na saída da seção das prensas, a alvura do papel, espessura da folha, densidade aparente e volume específico aparente.
- Problemas no processo de secagem do papel afetam o teor de umidade do papel na saída da seção da secagem, resistência superficial da folha e alvura do papel.
- Problemas no controle da pressão exercida durante o processo de calandragem podem alterar a espessura da folha, densidade aparente, volume específico aparente e alvura do papel.
- Problemas no controle de cargas minerais ou resíduos, também conhecido como cinza, afetam as propriedades do papel como, opacidade, fator de refletância, alvura, higroexpansividade, além de interferir na secagem da tinta de impressão.

Segundo PESCIO (2009), o desempenho da caixa de entrada influencia diretamente na qualidade do papel produzido e no desempenho da máquina, pois é responsável pela velocidade do jato da massa fibrosa entregue a tela formadora.

Desta maneira, nota-se pela complexidade do processo que existe a possibilidade de interferência de problemas em todas as áreas do processo produtivo, que poderá ser proveniente de outras fases e não necessariamente da mesma em questão.

A figura 11 representa o fluxo de problemas na fabricação de papel e suas interfaces desde a entrada da celulose até a finalização do processo com a formação do jumbo na enroladeira.

Figura 11 – Fluxo de problemas na fabricação de papel



Fonte: AUTOR, 2015

De forma simplificada, uma anomalia na refinação ou na caixa de entrada poderá causar problemas de gramatura, a gramatura incorreta poderá causar quebras na secagem, assim como uma anomalia na drenagem na área da formação, na área da prensa ou na secagem poderá causar problemas de umidade e uma anomalia no sistema hidráulico poderá causar problemas na prensagem e no enrolamento da bobina jumbo e assim sucessivamente.

3.4 RESOLUÇÃO DE FALHAS

O sistema de diagnóstico utilizado para resolver problemas de modo tradicional utiliza as experiências passadas pelos operadores e pela manutenção através de registros manuais e do próprio conhecimento do processo e da máquina.

A falta de registro ou de padronização na alimentação do banco de dados dificulta a solução da falha e impossibilita encontrar a causa raiz do

problema e desta forma, promove meios de impedir a sua reincidência, pois o conhecimento gerado pode ficar retido somente nos indivíduos. Muitas fabricas tentam formalizar e padronizar esta documentação, e as utilizam não só para solucionar problemas, mas também para transmitir o conhecimento existente nas pessoas da operação e manutenção para as demais equipes que se deslocam para resolver problemas em novas posições no processo de fabricação. Esta não é a melhor e nem a condição ideal para indústrias com processo contínuo onde a demanda e o volume de trabalho são significativamente grandes.

Desta forma, não basta que o processo seja automatizado, pois, sistemas de automação obsoleto, controladores trabalhando com divisão de grandezas (digitais e analógicas) ou trabalhando de forma independente é praticamente impossível monitorar e controlar o desempenho de todo o processo de fabricação em tempo real. Isto explica o interesse crescente na indústria em promover a integração entre os sistemas de automação.

4 ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

A automação e controle de processos industriais é um campo vasto e amplo, que levaria vários capítulos para discorrer e cobrir toda a sua teoria. Assim, vamos nos conter apenas sobre as questões que são relevantes para o desenvolvimento desta dissertação.

Este capítulo apresenta a definição, o conceito e a estrutura hierárquica da automação, e de forma sucinta, discorre sobre os principais equipamentos utilizados na integração da automação na fabricação de papel automatizada.

4.1 DEFINIÇÃO

4.1.1 Automação

Entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade do produto, da rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando os complexos objetivos das indústrias e dos serviços (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

De acordo com MOHAMED, 2003, a automação é o conjunto de técnicas utilizando equipamentos mecânicos, eletrônicos e sistemas de informação para operar e controlar a produção, e tem como objetivo de maximizar as oportunidades através da mistura do conhecimento e das tecnologias de automação. Isto irá estender a capacidade da empresa e promover a colaboração global, fornecendo acesso contínuo às informações.

GROOVER, (2001) defini automação como uma tecnologia relacionada com a aplicação do sistema mecânico, elétrico e sistemas baseado em computador para operar e controlar a produção.

4.1.2 Sistema

Sistema pode ser definido como um conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado que interage no desempenho de uma função. É uma definição muito abrangente que pode ser utilizada em uma grande variedade de contextos.

OGATA, define sistema como:

Uma combinação de componentes que atuam em conjunto e realizam um certo objetivo. Um sistema não é limitado apenas a algo físico. O conceito de sistema pode ser aplicado a fenômenos abstratos dinâmicos, como os encontrados em Economia. A palavra sistema deve, por conseguinte, ser interpretada para designar sistemas físicos, biológicos, econômicos e outros (OGATA, 2000, p.2).

De forma geral podemos definir automação como sendo um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem um sistema capaz de atuar com determinada eficiência, envolvendo tomadas de decisões através das informações recebidas do meio sobre o qual atuam, com o objetivo de substituir as atividades manuais de um processo, que pode ser completado com ou sem a participação do ser humano.

Os sistemas de automação têm a capacidade de executar comandos, obter medidas, regular parâmetros e controlar funções automaticamente. A automação também é o sinônimo de integração, onde o sistema permite que um dispositivo seja controlado de modo inteligente, tanto individualmente quanto em conjunto, passando a ser um sistema integrado que tem como objetivo principal otimizar a produção para maximizar a qualidade do produto e minimizar o custo operacional e a manutenção.

Basicamente, quando se analisa a automação industrial, pode-se dividi-la em dois seguimentos, ou seja, a Automação de Manufatura (MFCN¹³, CAD¹⁴, CAM¹⁵, entre outros) e o Controle de Processos (SDCD¹⁶, CLP¹⁷, FIELDBUS¹⁸, entre outros) (PINTO, 2000).

Trata-se de uma distinção conceitual de classe de controle conforme a manipulação das variáveis a serem controladas, pois indústrias que se caracterizam pelo controle de processo na qual o objeto do controle trabalhe com estados e eventos discretos, são consideradas como indústrias de manufatura, já indústrias cujo objeto do controle trabalhe com variáveis contínuas, são consideradas como indústrias de controle de Processos.

¹³ Máquinas Ferramentas de Controle Numérico

¹⁴ Computer Aided Design (Projeto Assistido por Computador)

¹⁵ Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador)

¹⁶ Sistema Digital de Controle Distribuído

¹⁷ Controlador Lógico Programável

¹⁸ Tecnologia de Rede em Campo

Dentre estas classificações a indústria papelreira possui determinadas características de controle e processo de fabricação que a colocam na posição como indústria de controle de processos.

4.1.3 Integração

De acordo com o Dicionário da Língua Portuguesa, a palavra integração é definida como: ato ou processo de integrar, tornar-se inteiro, completar-se, juntar, incorporar, torna-se parte integrante, fazer parte de.

A integração consiste basicamente em alocar componentes e sistemas de maneira conjunta levando a um estado de sinergia entre eles. As soluções envolvendo integração podem variar entre sistemas com integração parcial ou sistemas totalmente integrados, também conhecidos como integração plena (BURIAN; YAMAGUCHI, 2008).

Integração Parcial – quando os sistemas simplesmente trocam informações entre si, sem a garantia de que eles terão capacidade de interpretação dessas informações, ou seja, eles estão conectados e coexistem em um grande sistema, porém não existe a garantia de que eles podem “entender” um a outro.

Integração Plena – quando os sistemas estão conectados por um protocolo padrão usando a mesma definição conceitual para troca de informação e a coordenação de tarefas é feita de maneira integral, embora possam ser construídos e desenvolvidos com tecnologias totalmente diferentes, usando linguagens e procedimentos diferentes. Consideramos que os sistemas são plenamente integrados se e somente se:

- As especificações de qualquer um desses sistemas forem conhecidas pelo sistema como um todo;
- Ambos os sistemas contribuem para uma tarefa em comum;
- Os sistemas dividem a mesma definição de conjunto de informações conceituais que eles estão trocando;

Conforme BURIAN e YAMAGUCHI (2008), a melhor maneira de se atingir uma integração plena consiste no emprego de componentes exclusivos de um mesmo fornecedor.

Dentre as formas de integração, nas últimas décadas, tem surgido diferentes formas de integração complementares as anteriores, entre elas a integração de sistema físico, integração de aplicação e integração de negócios (BURIAN; YAMAGUCHI, 2008).

Integração de Sistema Físico – sistema físico é um conjunto de objetos ou materiais entre cujas partes existem vínculos. A integração de sistema físico consiste essencialmente a sistemas de comunicação, isto é, interconexão e troca de dados por meio de redes de comutadores e protocolos de comunicações;

Integração de Aplicação – consiste na interoperabilidade de aplicações em plataformas heterogêneas, assim como o acesso a dados comuns compartilhados por várias aplicações. O ambiente de processamento distribuído, serviços comuns para ambiente de execução, interfaces de programas de aplicação e formatos de troca de dados, são necessários neste nível para construir sistemas cooperativos.

Integração de Negócio – consistem na integração no nível de empresa, isto é, coordenação de processos de negócio, isto envolve em maior parte à interconexão entre empresas e requer profundo conhecimento da empresa para modelar com precisão as regras de operação dos negócios.

A integração de sistemas tem sido um tema pertinente na agenda de pesquisadores e especialistas, tanto na área da tecnologia da automação quanto na tecnologia da informação, com exemplo, SILVA (2013), discorre uma metodologia para planejamento da convergência da tecnologia da informação & tecnologia da automação em processos Industriais e ZÜGE (2014), dedica uma parte em sua tese para discorrer sobre a integração de tecnologia da informação e tecnologia da automação.

Neste contexto, atualmente muitos dos novos projetos já estão incorporando a integração entre TA¹⁹ e TI²⁰, ou seja, disponibilizando dados de chão de fábrica para banco de dados que podem ser consultados em momentos oportunos para a empresa.

¹⁹ Tecnologia da Automação

²⁰ Tecnologia da Informação

4.2 INTEGRAÇÃO DA TECNOLOGIA DA AUTOMAÇÃO

Devido à complexidade e ao desenvolvimento de recentes tecnologias aumentando a capacidade de processamento, a arquitetura de sistemas abertos, as redes de alta velocidade, a troca avançada de dados e protocolos, surge a necessidade da estruturação do sistema em um modelo que permita a padronização e a visibilidade de todo o processo de produção de forma clara, coerente e exata na troca de informações, quanto mais contextualizada, organizada, confiável e objetiva forem essas informações, maior será a chance da empresa atingir um bom desempenho.

Conforme ZÜGE, (2014) os principais modelos para a integração são: Manufatura Integrada por Computadores - CIM²¹, Sistema de Execução da Manufatura - MES²² e Modelo ISA²³. Um resumo básico de cada modelo será apresentado a seguir.

4.2.1 Manufatura Integrada por Computadores

CIM representa a aplicação integrada da tecnologia computacional à manufatura com o intuito de atingir os objetivos estratégicos da empresa, onde a integração está aplicada a todos os níveis de automação com o intuito de alcançar maiores níveis de produtividade.

Segundo BURIAN; YAMAGUCHI, (2008) e ZÜGE, (2014), o modelo CIM foi utilizado em várias plantas industriais com o objetivo de integrar as diversas ilhas de automação que se formaram para solucionar problemas específicos e bem definidos, ou para automatizar processos e procedimentos particulares.

O modelo CIM corresponde a uma arquitetura piramidal de integração, onde se conseguiu dividir o sistema de produção em níveis hierárquico, que foram integrados através de redes de comunicação.

A pirâmide apresentada por MORAES e CASTRUCCI (2007), figura 12, tem o objetivo de demonstrar a organização dos diferentes níveis hierárquicos de um sistema de automação integrado, onde os níveis 1, 2 e 3 representa à

²¹ Computer Integrated Manufacturing (Manufatura Integrada por Computador)

²² Manufacturing Execution System (Sistema de Execução da Manufatura)

²³ International Society of Automation (Sociedade Internacional de Automação)

parte de execução e supervisão do controle e os níveis 4 e 5 representa à programação da produção e informação gerencial. O modelo está estruturado em camadas, ou níveis, alocadas uma sobre a outra, permitindo a troca de dados entre camadas e entre níveis adjacentes, onde a troca de dados entre equipamentos e sistemas do mesmo nível é denominada de comunicação horizontal, e a troca de dados entre níveis adjacentes, comunicação vertical.

Figura 12 – Níveis de hierarquia da automação



Fonte: MORAES, CASTRUCCI, (2007), adaptado pelo autor

De acordo com a arquitetura hierárquica, cada nível possui seu escopo de controle e com responsabilidade específica, conforme descrito abaixo:

Nível 1 – Chão de Fábrica e Controle Manual: Nível das máquinas, dos dispositivos e componentes da planta industrial, também conhecidos como dispositivos de chão de fábrica.

Nível 2 – Controle Automático: Nível constituído por equipamentos que executam o controle automático das atividades da planta industrial conhecido como controladores do processo.

Nível 3 – Supervisão do Processo: Nível que permite o gerenciamento e a supervisão do processo produtivo, normalmente constituído por banco de dados com informações relativas ao processo.

Nível 4 – Planejamento da produção: Nível responsável pela programação e pelo planejamento da produção, realizando o controle e a logística de suprimentos, também conhecido como gerenciamento da planta.

Nível 5 – Planejamento Estratégico: Nível responsável pela administração dos recursos da empresa, onde são encontrados os softwares para gestão de vendas e financeira.

4.2.2 Sistema de Execução da Manufatura

O MES trata-se de uma evolução natural para as empresas atingirem o grau necessário de competitividade em seu ramo de atuação, tem em sua existência a função de viabilizar informação para a otimização da produção desde a consolidação do pedido até a entrega do produto final, ou seja, passa a ser a automação do negocia ao invés da simples automação de processo e equipamentos.

De acordo com a MESA²⁴ - Associação para Soluções de Manufatura Empresarial, o MES fornece informação que possibilita a otimização das atividades de produção desde o lançamento de ordem até produtos acabados. Usando dados atuais e precisos, o MES guia, inicia, responde, e reporta as atividades da planta assim que elas ocorrem. A resultante resposta rápida às mudanças de condições, juntamente com foco na redução de atividades de valor não agregado, direciona de forma eficaz as operações e os processos da planta. O MES melhora o retorno sobre os ativos operacionais, bem como a entrega no prazo, giro de estoque, desempenho do fluxo de caixa, e ainda, fornece informações críticas sobre as atividades de produção em toda a empresa e cadeia de suprimentos através de vias de comunicações bidirecionais (MESA INTERNATIONAL, 1997)

Segundo BURIAN; YAMAGUCHI, (2008), o MES preenche uma lacuna de integração de hardware e fluxos de informação entre o chão de fábrica e a gestão corporativa. Embora o ERP²⁵ tenha em sua proposição, módulos voltados para as necessidades da produção, muitas vezes, a eficiência nos

²⁴ Manufacturing Enterprise Solutions Association (Associação para Soluções de Manufatura Empresarial)

²⁵ Enterprise Resource Planning (Planejamento de Recurso Corporativo)

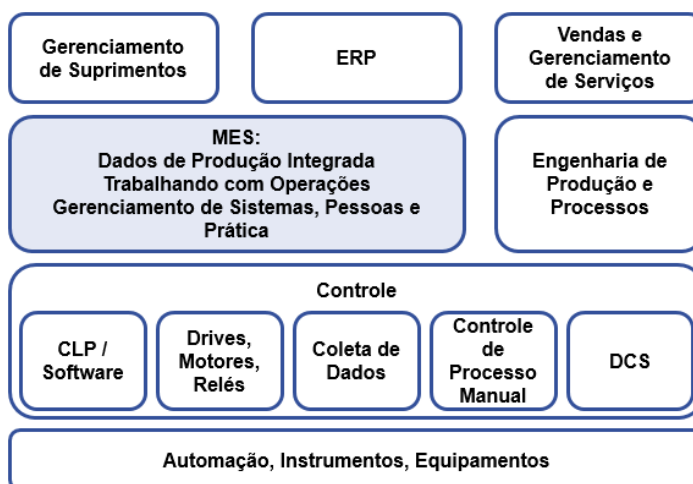
módulos de interface com a produção é questionada, pois não refletiam o dinamismo com a qual as mudanças acontecem no processo, atualmente, ainda é comum a entrada de dados referente ao estado da planta se dar de forma manual.

LOPES, (2012), relata que o MES é um sistema informatizado integrado que possibilita a entrada automática das informações do estado da planta não só para sistemas ERP, mas também outros sistemas relacionados, e possui métodos e instrumentos necessários a realização da produção, auxiliando os gerentes na execução do plano de manufatura.

Segundo MATSUBARA (2014), através de sistemas SCADA, os dados coletados no ambiente de produção são disponibilizados em monitores para que os supervisores possam acompanhar a produção. De posse destes dados, o MES atualiza a programação detalhada da produção organizando os recursos disponíveis para a execução do trabalho e verificando os impactos de eventuais mudanças no ambiente produtivo. Por fim, as ordens planejadas têm seus status atualizados para que o ERP possa ser alimentado, para consulta gerencial e repasse de dados aos clientes, fornecedores e colaboradores internos, facilitando o planejamento e a tomada de decisões no nível organizacional.

A figura 13 apresenta o modelo de três camadas proposto pela MESA para a integração do sistema da planta.

Figura 13 – Modelo de camadas MESA



Fonte: MESA INTERNATIONAL, 1997 (adaptado pelo AUTOR)

O modelo de camadas ilustra como as informações serão agrupadas segundo a Associação para Soluções de Manufatura Empresarial, onde cada nível possui seu escopo e responsabilidade específica, conforme descrito a seguir:

Nível 1 – Automação e Controle: Nível contendo dispositivos e componentes de campo e equipamentos que executam o controle automático das atividades da planta industrial.

Nível 2 – Informações MES: Nível onde é efetuada a coleta de dados do nível chão de fábrica que serão tratadas as informações possibilitando a comunicação bidirecional com o nível de controle.

Nível 3 – Gestão Corporativa: Nível responsável pela logística de suprimentos, gerenciamento da planta, administração dos recursos da empresa, onde são encontrados os softwares para gestão.

4.2.3 Modelo ISA-S95

A ISA é uma fundação global sem fins lucrativos fundada em 1945 com o objetivo de emitir padrões para a automação industrial.

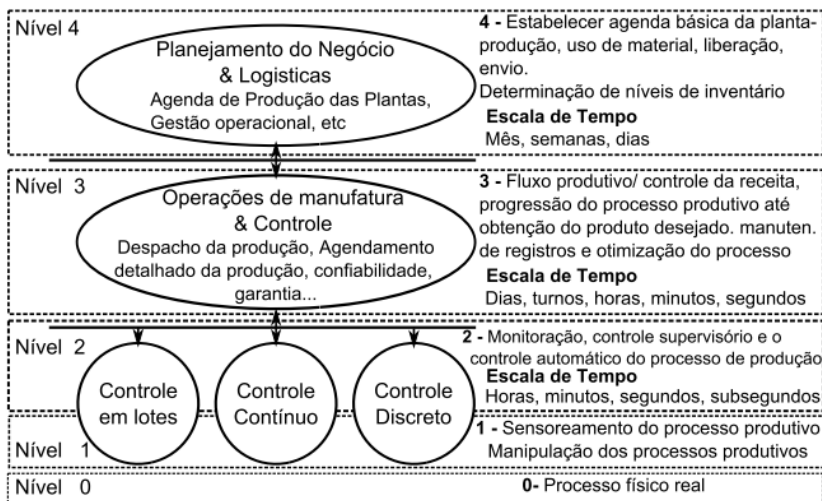
A norma ISA-S95 é baseada em um conjunto de normas internacionais, e estabelece modelos e terminologias para definir as interfaces entre os sistemas corporativos de uma empresa e seus sistemas de controle. Ela foi desenvolvida para ser aplicada em todos os setores industriais e em todos os tipos de processos produtivos, podendo ser processos em lotes, processos contínuos ou processos repetitivos (PESSOA, 2015).

O modelo ISA-S95, é um padrão para integração de sistemas de controle e negócio que pode ser utilizada como guia para a definição das necessidades do usuário, seleção de fornecedores, base de desenvolvimento de sistemas de dados determinando quais informações são relevantes e devem ser trocadas entre sistemas. Para o desenvolvimento deste modelo, a ISA-S95 considerou a utilização e influência de três outros trabalhos, ISA-88 (Controle em Batelada), o Modelo de Referência CIM e o desenvolvimento do sistema MESA (ZÜGE, 2014).

A ISA-S95, partes 1 e 2 estão relacionadas com a interface entre o sistema administrativo e o chão de fábrica (produção, operação e controle). O

modelo de hierarquia funcional fornece uma estrutura para as atividades da empresa, identifica e estabelece um modelo para o fluxo de dados das informações, denominado de diagrama de hierarquia funcional.

Figura 14 – Diagrama hierárquico funcional, modelo ISA S95



Fonte: PESSOA (2015)

Basicamente, o diagrama de hierarquia funcional, figura 14, identifica os seguintes níveis:

Nível 0: O processo físico corrente.

Nível 1: Funções envolvendo o sensoriamento e a manipulação dos processos físicos, ou seja composto pelos dispositivos da planta industrial.

Nível 2: Funções de automação envolvendo o monitoramento e controle dos processos físicos.

Nível 3: Camada de execução da manufatura, suas atividades são relacionadas aos sistemas MES, programação, alocação de recursos, etc.

Nível 4: Camada de planejamento de negócio, suas atividades são relacionadas aos sistemas ERP, programação, gestão da qualidade, etc.

4.3 REQUISITOS DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

Ao longo dos anos, diversas tecnologias foram desenvolvidas no sentido de aprimorar as necessidades do processo, e com isto, a utilização da

automação nas indústrias tem sido cada vez maior, no sentido de proporcionar aumento da produção com qualidade e redução de custo.

Inicialmente a automação industrial caracterizava-se por sistemas de tecnologia fechada, gerando inflexibilidade aos sistemas e provocando uma eterna fidelidade ao equipamento escolhido, pois cada fabricante defendia seus próprios padrões ou o que lhe fosse mais conveniente.

Na tentativa de alterar este cenário, surgiu a necessidade de se criar padrões no desenvolvimento e na fabricação de equipamentos utilizados nos sistemas de automação, tanto no software como no hardware, buscando atender às necessidades da comunidade industrial, onde, em 1979 foi formado um grupo de trabalho dentro da *International Electrotechnical Commission* (IEC²⁶) para avaliar o projeto de controladores programáveis, incluindo hardware, instalação, teste, documentação, programação e comunicação com o objetivo de definir e criar tais padrões para estes equipamentos, surgindo então à norma IEC-61131. A norma IEC-61131 foi criada para atender a demanda do mercado de controle industrial e padronizar as múltiplas linguagens, conjuntos de instruções e conceitos existentes no campo da automação de sistemas. Inicialmente a norma IEC 61131 era denominada, IEC 1131, porém, a IEC alterou a forma de codificação de suas normas, incluindo mais um algarismo. Desta forma, a norma 1131 passou a ser denominada IEC 61131. Portanto, ambas as denominações se referem à mesma norma (FAUSTINO, 2005).

Os sistemas de automação e sistemas de gestão foram concebidos de modo a atender necessidades específicas, sendo que a integração entre eles não representava um objetivo. No que se refere a equipamentos de automação, software e hardware, esta é uma norma muito importante, que apresenta recomendações para os aspectos relacionados com a especificação, os requisitos mínimos para funcionalidades, condições de trabalho, características construtivas, segurança geral e testes aplicáveis para os Controladores Programáveis e seus periféricos.

Segundo MORAES; CASTRUCCI, 2007, em um sistema automatizado é difícil distinguir as contribuições das engenharias, tanto a de controle dinâmico

²⁶ International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)

quanto a de controle lógico. A rigor existem contribuições das duas especialidades, a engenharia de controle deve pesquisar modelos matemáticos do processo e algoritmo de controle que otimize a eficiência das malhas de realimentação tornando-as mais obedientes aos operadores e mais imune às perturbações, mantendo as condições operacionais nos valores adequados ao processo, e finalmente, intervém a engenharia de automação priorizando o controle lógico, através da implementação das regras desejadas para os eventos discretos no processo, devendo considerar os níveis de segurança para os componentes e para as pessoas, assim como os requisitos de monitoração, alarme e intervenção por parte dos operadores e os relatórios gerenciais.

Qualquer que seja o sistema de automação, a estrutura envolve a implantação de sistemas interligados e assistidos por redes de comunicação, compreendendo em computadores, interface homem máquina, controladores lógicos programáveis e sistemas supervisórios que possam auxiliar os operadores no exercício da supervisão, do controle e da análise dos problemas que porventura venham a ocorrer tanto no processo como nos componentes físicos.

Conforme YAMAGUCHI, 2006, todo sistema de automação integrado deve fornecer um sistema final com as seguintes características:

Controle Dinâmico Efetivo – Um controle eficaz dinâmico de cada unidade de produção da planta para garantir que a mesma opere no máximo de eficiência da capacidade produtiva, da qualidade do produto e da utilização de energia e de matéria- prima. O máximo de eficiência é baseado no nível de produção ajustado pelas funções de programação e supervisão da produção. No caso de uma planta de manufatura com processo discreto, a otimização é realizada através de melhorias na programação da produção e no caso da produção de uma planta de processo contínuo, a otimização é realizada através de melhorias na programação da produção e no controle do processo. Este é o componente de controle direto do sistema, reagindo diretamente para compensar emergências que possam ocorrer na própria unidade;

Supervisão e Coordenação – Um sistema de supervisão e controle que determine e ajuste os níveis locais (de cada unidade) de produção de todas as

unidades de forma a otimizar a operação conjunta das unidades. Este sistema garante que cada unidade tenha um nível de produção compatível com o nível definido para a área geral e não utilize matéria-prima e energia em excesso. Este sistema coordena a operação das unidades nos casos de existência de problemas ou emergências em uma ou mais unidades, de forma a permitir a redução ou parada coordenada da área através da cooperação dos controles dinâmicos de cada unidade. Também é responsável pela filtragem dos dados provenientes das unidades de controle dinâmico, de forma a armazenar apenas os dados relevantes do ponto de vista produtivo, de processo e gerencial no banco de dados histórico da planta. Este banco de dados servirá para fornecer dados para diferentes departamentos (Qualidade, Engenharia, Marketing, Logística, Financeiro) da empresa.

Controle da Produção Geral – Um sistema de controle da produção geral com capacidade de definir a programação geral da produção da planta a partir das ordens dos clientes ou das decisões gerenciais. Este sistema deve produzir os produtos necessários para o cumprimento das ordens dos clientes na melhor combinação de atendimento ao cliente e utilização de matéria-prima, de tempo, de energia, de estoque e de recursos humanos expressos em valores financeiros;

Confiabilidade e Disponibilidade – Métodos que garantam a confiabilidade e disponibilidade do sistema de controle de toda a planta através da detecção de falhas da tolerância a falhas da redundância, da utilização de nobreaks, do planejamento de manutenção e utilização de outras técnicas.

Em resumo, o sistema de automação integrado por computadores devem atender os seguintes requisitos:

1. Otimização de cada unidade de produção;
2. Coordenar, supervisionar e ajudar a produção para cada unidade;
3. Definir os produtos a serem produzidos;
4. Assegurar a confiabilidade e disponibilidade do sistema;

Desta forma, o sistema tem como objetivo principal oferecer três funções básicas, a supervisão, operação e o controle:

Supervisão: Incluem-se todas as funções de monitoramento do processo, sejam elas sinóticas, gráfico de tendências de variáveis analógicas e digitais, relatórios de dados e outros.

Operação: Substitui grande parte dos comandos físicos em comandos via tela de operação, otimizando os processos de “liga e desliga” de equipamentos, possibilita a inclusão de sequências de operação de equipamentos, a mudança do modo de operação com maior segurança e a operação de malhas PID.

Controle: Possibilita a entrada de set-point com controle dinâmico que atua em diversas malhas simultaneamente e a opção de controle automático e manual das malhas de controle.

Com a utilização de sistemas supervisórios tem-se um grande incremento de capacidade, funcionalidades e ferramentas para interagir com o processo. As aplicações geradas para este tipo de sistema rodam em computadores industriais, também conhecidos como PCs. Primeiramente, cada equipamento ou dispositivo do processo que é controlado pelo CLP pode ser manipulado a partir do sistema supervisório. Comandos como abrir/fechar ligar/desligar, seleção de modo de operação (manual, automático, manutenção) são feitos a partir de janelas de controle individualizadas. A indicação dos status (ligado/desligado aberto/fechado/ com alarme, inibido, manual/automático) também é feita de maneira individual e para todos os equipamentos. Variáveis de processo (temperatura, pressão, vazão, nível, velocidade) são monitoradas e controladas a partir de computadores, fisicamente posicionados em salas de controle ou remotamente.

5 DESENVOLVIMENTO DA INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

Para integrar sistemas de automação existem inúmeras soluções que seguem diferentes abordagens e tecnologias. Este capítulo é dedicado a apresentar a metodologia e o desenvolvimento da integração do sistema de automação utilizado atualmente no processo industrial de fabricação de papel, visando uma plataforma única de automação e o monitoramento e controle do processo centralizado na sala de operação.

Os estudos foram realizados durante o desenvolvimento e a colocação em funcionamento da unidade de fabricação de papel cartão, porém, este estudo não está limitado a este tipo de máquina, podendo ser aplicado para outras unidades de fabricação, independentemente do tipo de papel produzido.

Figura 15 – Produtos fabricados com papel cartão



Fonte: AUTOR, 2015

O papel cartão, figura 15, pode ser utilizado para fabricação de caixas de papelão, papel timbrado, bloco de notas, embalagens de alimentos, cosméticos, medicamentos, *fast foods*, pastas para arquivos, calendário, etiquetas, encartes escolares, cartões de ponto e etc.

Este estudo limita-se a integração do sistema de automação utilizando o supervisor SCADA, a organização do hardware da automação conforme modelo hierárquico e a interface de operação.

5.1 CRITÉRIOS PARA INTEGRAÇÃO

Como vimos anteriormente, dentre as classificações das indústrias e suas operações a indústria papelreira está classificada na categoria de indústria de processo com sistema de produção contínua. No que se refere à automação da indústria de processo, a indústria papelreira necessita manter valores constantes e definidos para variáveis como: pressão, vazão, temperatura, pH, consistência, nível, dentre outros dispositivos de ação mecânica na máquina de formação de papel.

Analisando as características referentes à automação no processo de fabricação de papel, necessitamos de uma automação capaz de lidar com variáveis de controle da indústria de processo, isto é, parâmetros e informações contínuas, e variáveis da indústria de manufatura, ou seja, parâmetros e informações discretas.

Neste caso, a solução adotada foi a utilização de um sistema de automação que permite o controle do processo contínuo, que tem a finalidade de medir a variável de interesse, compará-la com o valor desejado previamente definido e atuar no processo de forma a diminuir a diferença entre o valor medido e o valor desejado, associada a automação para processo discreto, que tem como objetivo monitorar a variável de interesse e processar de acordo com a lógica de funcionamento programada e atuar no processo.

Para tal desenvolvimento, foi adotado o conceito CIM de arquitetura piramidal de integração, onde se dividiu o sistema em níveis hierárquico, que foram integrados através de redes de comunicação aplicados a tecnologia computacional.

Desta forma, para que o sistema de automação seja adequado ao processo de fabricação de papel, o sistema e sua arquitetura devem estar qualificados para atender os seguintes critérios:

- 1. Operação do processo** – Atender as funções de monitoração, operação e controle do processo com interface na qual possibilite o operador observar e atuar sobre o processo, através de sinóticos, que representam graficamente o processo industrial, gráficos de tendências que acompanham a evolução das variáveis do processo, alarmes para advertir o usuário quando

uma variável ou condição do processo de produção não estiver de acordo com os valores previstos.

2. Otimização do processo - Permitir o desenvolvimento de algoritmos para controle, comandos e lógica de intertravamento, correção de perturbação de modo automático. Atender o número de usuários que irão interagir com o sistema, incluindo a operação, manutenção e engenheiros para reconfiguração do sistema conforme necessidade produtiva.

3. Comunicação do processo – Suportar a topologia de rede em anel para a comunicação entre os servidores, topologia de rede em estrela para a comunicação entre servidor e estação de operação e estação de engenharia, topologia de rede ponto a ponto para comunicação entre servidor e controlador, topologia de rede barramento e árvore para comunicação dos controladores, RUT e instrumentos de campo, através de interfaces de comunicação através de protocolos como AS-I, Profibus, Ethernet e OPC.

4. Garantia de disponibilidade - Servidor redundante para garantir a confiabilidade e disponibilidade geral do sistema para executar as atividades definidas, isto poderá incluir combinações apropriadas de técnicas de detecção de falhas.

5. Interface externa - Conexão Web Server permitindo realizar o monitoramento, controle e assistência técnica fora da planta. Possibilidade de integração com o nível de gerenciamento e corporativo.

6. Armazenamento de dados - Servidor para armazenamento de dados históricos em tempo real, banco de dados para futuras consultas e a disponibilidade dos dados ao nível de gerenciamento e corporativo.

7. Sistema físico - Suportar o número de entradas e saídas para o processo, incluindo I/O digital e analógico, número de variáveis internas como booleano, inteiro ou flutuante, sistemas externos. Compatibilidade entre os componentes utilizados nos sistemas de automação, item básico para a integração dos níveis de controle e os sistemas atuantes na planta.

5.2 METODOLOGIA UTILIZADA

Conforme MORAES & CASTRUCCI (2007) o sucesso de uma automação está fortemente vinculado à elaboração de uma metodologia de desenvolvimento do projeto de automação, devendo este, ser o mais completo e detalhado possível, sem perder o objetivo final, ainda segundo os autores, as etapas que devem compor o planejamento do projeto na área de automação industrial podem ser caracterizados em cinco etapas: (a) escopo; (b) especificação; (c) desenvolvimento; (d) testes integrados; (e) implantação.

De acordo com CABÚS, *et al.* (2004), quando uma empresa decide implementar um sistema SCADA em sua instalação deve considerar 5 passos básicos para a realização do processo: (a) a concepção da arquitetura do sistema (tipo de rede, distâncias, número de E/S, protocolos, drivers, dispositivos de controle, etc.); (b) definição das RTUs²⁷ necessárias para os equipamentos, redes de comunicação, dispositivos de IHM e hardware em geral, assim como a aquisição de um pacote de software SCADA adequado a arquitetura dos sistemas da planta; (c) instalação de equipamentos de comunicação e um sistema de computador; (d) programação dos equipamentos de comunicação, equipamentos IHM e software SCADA; e por último (e) o teste do sistema como um todo, durante o qual os problemas de programação e comunicação do software SCADA são resolvidos.

CONSTAIN (2011), propõe uma metodologia para desenvolvimento integrado de sistema SCADA aplicada a um sistema de manufatura em oito fases: (a) projeto informacional (levantamento das especificações técnicas do projeto de integração, mediante as informações relevantes do processo a ser controlado e supervisionado); (b) síntese de controle supervisão (compreende na modelagem da planta a ser controlada, modelagem das especificações de controle, síntese de supervisores ótimos); (c) emulação (permite acompanhar a atuação dos supervisores na planta sequencialmente, possibilitando identificar erros ocorridos na modelagem); (d) implementação de controle supervisão em CLP (constituída da implementação dos supervisores modulares e sistema produto, implementação de sequências operacionais e teste inicial do

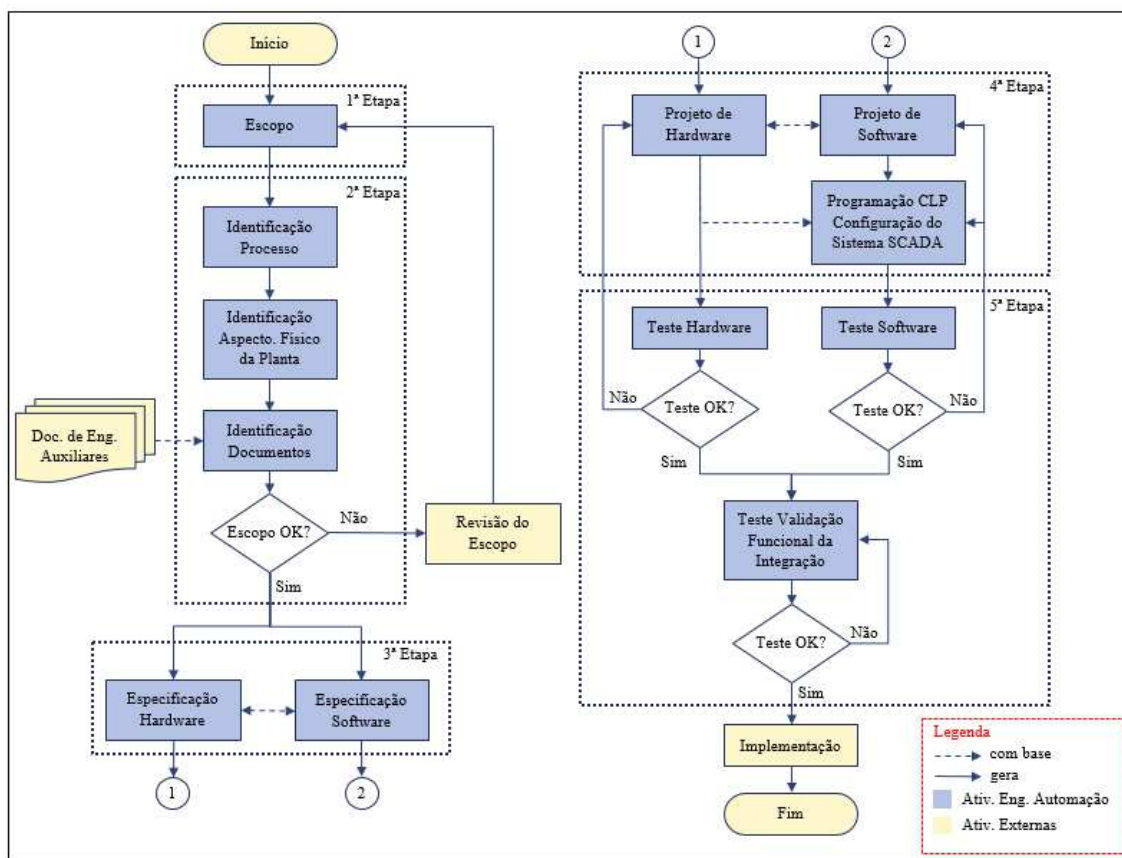
²⁷ RTU – Remote Terminal Unit (Unidade Terminal Remota)

funcionamento do sistema para encontrar possíveis inconsistências na lógica programada); (e) implementação de funcionalidades básicas do SCADA (sinótico, envio de comandos, histórico de eventos e geração de alarmes críticos); (f) avaliação de funcionamento do sistema real (avaliar se o comportamento do sistema real está de acordo com o inicialmente planejado, desta vez, integrando os dispositivos de campo ao CLP); (g) implementação de funcionalidades gerais do sistema SCADA (geração de alarmes gerais, gráficos de tendências, receitas, relatórios e geração de informação para níveis gerenciais); por fim, na última fase, (h) validação (tem a finalidade de realizar os testes finais que permitam validar e certificar o funcionamento do sistema real e da aplicação SCADA para o sistema de manufatura).

Tendo por base MORAES & CASTRUCCI (2007), CABÚS, *et al.* (2004), e a metodologia proposta por CONSTAIN (2011), este autor apresenta na figura 16, a metodologia utilizada para o desenvolvimento da integração do sistema de automação utilizada no processo de fabricação de papel.

Esta metodologia tem como objetivo orientar a equipe de desenvolvimento desde o início do projeto de integração até a fase final de implementação na planta. De forma resumida, esta metodologia propõe: (a) análise do escopo do projeto, onde deve-se verificar a descrição do trabalho a ser realizado e produto a ser entregue, (b) identificação, que tem como objetivo identificar o processo a ser integrado, tipo de produto fabricado, equipamentos utilizados no processo, aspectos físicos da planta e localização de dispositivos e equipamentos, assim como identificação de documentos desenvolvidos por outras áreas de engenharia, (c) especificação, consiste na definição dos equipamentos de hardware e software do sistema, (d) desenvolvimento, fase em que o projeto de hardware e software deve ser desenvolvido, levando em consideração a programação do CLP e a integração através do supervisor SCADA, (e) testes integrados, tem como propósito realizar teste funcional dos equipamentos, a emulação do software e a validação funcional do sistema e sua integração, (f) implementação, por fim a colocação em funcionamento do sistema na planta.

Figura 16 – Metodologia para Integração Sistema Automação



Fonte: AUTOR, 2015

5.2.1 Etapa 1: Escopo

No meio corporativo, entende-se por escopo a somatória de tudo que se referir a um projeto, ou seja, a descrição detalhada do trabalho a ser realizado, dos produtos e serviços a serem gerados para atender os objetivos do projeto. Tem como propósito delimitar as atividades e o resultado que se pretende atingir com o projeto, assim como, fazer referência aos produtos e suas características. Esta etapa deve ser realizada ainda no processo de pré-venda ou na contratação do projeto, descrevendo as características do produto e o trabalho necessário para realizá-lo, porém, pode sofrer alterações durante a evolução e o desenvolvimento do projeto.

5.2.2 Etapa 2: Identificação

A segunda etapa da metodologia é responsável em verificar as necessidades relevantes ao processo a ser monitorado e controlado. Juntamente com os especialistas no processo, deve-se definir as estratégias para a otimização e operação da planta, assim como, definir quais as informações são relevantes e devem ser disponibilizadas para o nível de gerenciamento. Esta fase é fundamental para a especificação técnica dos dispositivos de automação e sua integração, pois facilita a análise e a compreensão do sistema a ser utilizado no processo de fabricação e auxilia o engenheiro na fase de desenvolvimento do projeto.

Esta etapa será dividida em três fases:

5.2.2.1 Fase 2.1 – Identificação do processo

São identificados os equipamentos, subsistemas e sistemas auxiliares que compõem o processo de fabricação de papel, bem como suas principais características e princípio de funcionamento, o tipo de produto a ser fabricado, no caso o tipo de papel produzido. Também são identificados os dispositivos de campo, sensores e atuadores, que fazem parte do sistema de controle, assim como a sequência operacional, as quais serão programadas nos equipamentos de controle e supervisão. Nesta fase o processo é sistematizado e separado em suas partes constituintes, construindo uma estrutura tipo diagrama de blocos de modo a entender as interfaces entre os sistemas e a dimensão do volume de informação e dados a ser trocado entre eles.

5.2.2.2 Fase 2.2 – Identificação do aspecto físico da planta

Devido ao tamanho da indústria papeleira e a complexidade do posicionamento dos equipamentos, é necessário à modelagem da planta com a finalidade de obter o aspecto físico da planta, a localização dos equipamentos e subsistema utilizados na fabricação de papel, a sala elétrica, a sala de operação e os dispositivos de campo, considerando a real localização e suas distâncias. De forma geral, a modelagem não faz parte do escopo de trabalho da engenharia de automação, mas é de suma importância, pois é através desta

modelagem que será determinado a localização dos equipamentos de automação e conseqüentemente as distâncias entre eles. Estes dados são fundamentais para a definição dos dispositivos de automação, das redes de comunicação e a definição de arquitetura da rede.

5.2.2.3 Fase 2.3 – Identificação de documentos

Nesta fase deve-se identificar e coletar todos os documentos provenientes de outras áreas da engenharia como: descritivo de funcionamento do processo, fluxograma e diagrama de processo, diagrama de tubulação e instrumentação P&ID²⁸, lista de equipamentos (motores, instrumentos, válvulas, sensores), layout da planta, diagrama de causa e efeito, especificação de operação, sequencia operacional e etc. Esta documentação será utilizada como base para o desenvolvimento do projeto, assim como, especificação dos equipamentos de automação, definição da arquitetura das redes de comunicação, definição dos algoritmos de controle e lógica de intertravamentos.

5.2.3 Etapa 3: Especificação

Esta etapa consiste no projeto conceitual básico, resultando na especificação funcional do sistema de automação, especificação da configuração do sistema, lista de equipamentos (hardware e software) a serem adquiridos incluindo a definição de fornecedores, análise técnica.

Esta etapa será dividida em duas fases:

5.2.3.1 Fase 3.1 – Especificação e definição do hardware

Esta fase compreende na especificação e na definição dos dispositivos e componentes de hardware responsável em executar o monitoramento e controle automático das atividades da planta, como por exemplo: Servidor, CLP, RTU, dispositivo de interface com operador, assim como as redes de comunicação e protocolo a serem utilizados para estabelecer a comunicação

²⁸ Piping and instrumentation diagram (Diagrama de tubulação e instrumentação)

entre os dispositivos de campo, controlador e estação de operação. Deve-se também levar em conta as características necessárias de cada equipamento com o objetivo de propiciar a integração plena do sistema de automação, pois a compatibilidade entre os equipamentos de automação é fundamental para a integração entre os vários níveis de controle e entre os vários sistemas atuantes no processo, definindo as restrições do comportamento e a coordenação desejada para o sistema.

5.2.3.2 Fase 3.2 – Especificação e definição do software

Outro fator importante a ser definido nesta fase levando em consideração o hardware definido na fase 3.1, é a definição das ferramentas que permite a síntese do controle supervísório, ou seja, o software de configuração e programação do CLP, cuja programação é realizada em linguagem estruturada de acordo com a norma IEC-61131, e o software que permite o desenvolvimento da aplicação SCADA, que devem possuir drivers de comunicação compatíveis com os protocolos do CLP. Esta fase deve ser voltada para a análise e convergência das tecnologias de automação e informação para resultar em uma plataforma única para a arquitetura integrada do sistema de automação.

5.2.4 Etapa 4: Desenvolvimento

A etapa de desenvolvimento tem como objetivo o projeto de controle e automação, a integração do sistema de automação em geral, a configuração do sistema supervísório, o programa computacional, a configuração das redes de comunicação, painéis e telas de operação.

Esta etapa será dividida em três fases:

5.2.4.1 Fase 4.1 – Desenvolvimento do projeto de Hardware

Esta fase compreende a modelagem e desenvolvido do projeto de hardware do sistema de automação, utilizando a metodologia da arquitetura piramidal de integração, desde o nível 1, correspondendo ao chão de fábrica até o nível 3, supervisão do processo. Nesta fase também são desenvolvidos a

estratégia de operação do processo, o projeto das redes de automação, o projeto de painéis elétricos e painéis de operação, a interligação elétrica dos dispositivos, sistema de aterramento, típicos de interligação dos módulos de entradas, saídas, CLP, dispositivos de campo, identificação de borne, caixas de interligação, entre outros.

5.2.4.2 Fase 4.2 – Desenvolvimento do projeto de Software

Esta fase compreende na modelagem e desenvolvimento do software que fazem parte do sistema de controle e sequências operacionais, as quais são programadas nos equipamentos de controle. Nesta fase é desenvolvido o diagrama lógico funcional que tem como função fornecer informações de controle, intertravamentos, sequência de partida, operação, alarme, bloqueio de equipamento e o controle dinâmico das variáveis do processo através de algoritmos e sequências de funcionamento.

5.2.4.3 Fase 4.3 – Programação do CLP e configuração do software SCADA

Esta fase destina-se a programação do controlador a partir dos diagramas lógicos desenvolvido na fase 4.2, a programação deverá ser estruturada de acordo com os padrões da norma IEC 61131, de forma a facilitar a manutenção, a otimização e a própria programação. Destina-se também a instalação e configuração das funcionalidades do sistema SCADA, entre elas estão, a elaboração e a edição das informações gráficas e textuais da planta, telas de operação, sinótico, envio de comandos, histórico de eventos, geração de alarmes, gráficos de tendências, receitas, relatórios, geração das informações relevantes para o nível gerencial, assim como a integração do nível 3 com o nível 4 da pirâmide hierárquica da automação.

Outro fator importante é o mapeamento e endereçamento dos módulos de I/O das RTUs, do CLP, configuração das redes de comunicação e suas velocidades, protocolos, drivers, servidores, computadores, sistemas auxiliar do cliente, desempenho do sistema e configuração dos dispositivos de campo em rede. Por fim, esta fase permite implementar as atualizações dinâmicas para interagir com o processo de produção, como, por exemplo, exibição de status

de funcionamento dos equipamentos, exibição dos valores das variáveis analógicas, sinalizações das funções de operação, dos dispositivos de campo e outros que forem necessários para operação e manutenção.

5.2.5 Etapa 5: Testes Integrados

Consistem em um conjunto de testes, simulações e verificações para a análise da operabilidade e consistência do funcionamento tanto dos equipamentos de hardware como do software, o programa do controlador e as interfaces com o sistema SCADA. Estes testes podem ser executados durante ou na fase de finalização do projeto.

Esta etapa será dividida em três fases:

5.2.5.1 Fase 5.1 – Teste funcional do hardware

Nesta fase é realizado o teste funcional do dispositivo de hardware desenvolvido na fase 4.1, são testados os painéis de CLP, painel RTU, painéis de operação, painel do servidor, caso encontre erros ou inconsistência, permite-se realizar mudanças e adequações no projeto de hardware, voltando à fase 4.1, caso contrário, os dispositivos podem ser disponibilizados para o teste de validação funcional do sistema.

5.2.5.2 Fase 5.2 – Teste e emulação do software

Esta fase é responsável pela emulação da lógica desenvolvida na fase 4.2, são realizados somente em termos de software com o objetivo de verificar todas as linhas do programa do controlador, assim como a interface de operação desenvolvida no sistema SCADA, caso encontre erros ou inconsistências, permite-se realizar previamente mudanças e adequações no projeto, voltando à fase 4.2, caso contrário, os controladores e o sistema SCADA podem ser disponibilizados para o teste de validação funcional do sistema.

5.2.5.3 Fase 5.3 – Teste de validação funcional do sistema

Esta fase tem como propósito validar o funcionamento e o comportamento do sistema de automação inicialmente planejado. Aqui são realizados os testes de integração dos dispositivos de automação, a coordenação do sistema, a sequência operacional, as telas de operação, as curvas de tendências, alarmes, interfaces gráficas, a comunicação entre dispositivos, os servidores redundantes, entre outros. Basicamente é realizada a validação funcional da integração de todo o sistema de automação (hardware e software) do processo de fabricação de papel.

Caso o resultado do teste de validação seja negativo, será identificada a causa e deverá ser iniciada uma nova iteração na fase a qual corresponde a causa raiz, no entanto se o resultado for positivo, a validação da integração do sistema está completa, e portanto o sistema poderá ser colocado em funcionamento na planta. Esta fase deverá ser realizada tantas vezes quantas forem necessárias, até se obter do sistema o comportamento planejado para atender as necessidades do processo de fabricação de papel.

5.2.6 Etapa 6: Implementação

A sexta e última etapa compreende na implementação física da automação na planta, com a interligação de todos os equipamentos e dispositivos do processo, como, motores, atuadores, sensores, estação de operação, painéis elétricos, entre outros, isto é, a colocação em funcionamento da integração do sistema de automação na indústria papelreira, com a finalidade de iniciar o processo de fabricação de papel.

5.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a aplicação da metodologia no processo de fabricação de papel, apesar de serem várias as etapas para o desenvolvimento da integração, o presente trabalho está focado na integração do sistema de automação utilizando o sistema SCADA, na organização da automação de hardware conforme modelo hierárquico e na interface de

operação, compreendendo basicamente em partes da metodologia utilizada para o desenvolvimento geral do projeto de automação e controle do processo de fabricação de papel.

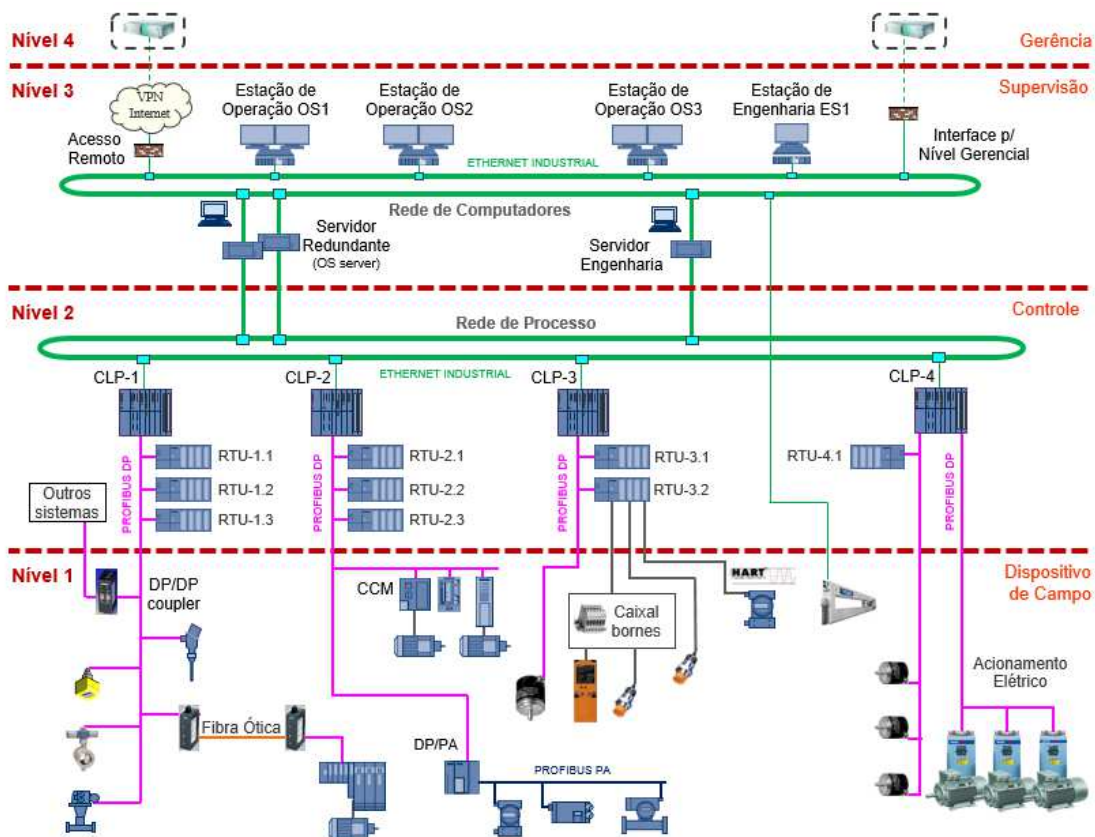
5.3.1 Arquitetura integrada de hardware

Não existe uma arquitetura de sistema de automação industrial que represente a solução ideal para todas as aplicações no processo de fabricação de papel. Em cada fábrica haverá uma topologia e aspectos de operação particular em função do processo e do produto fabricado, sobre os quais deve-se observar e concentrar os maiores esforços para permitir a supervisão e o controle do processo produtivo, no sentido de se estabelecer uma harmonia funcional do sistema de produção de papel, com o intuito de se atingir os objetivos estratégicos da empresa.

A figura 17 representa a arquitetura de hardware aplicada ao processo em questão, com o intuito de atingir os objetivos estratégicos da empresa, onde a integração foi aplicada a todos os níveis de automação utilizando o modelo CIM, que corresponde a uma arquitetura piramidal de integração, dividindo o sistema em níveis hierárquicos, que foram integrados através de redes de comunicação que permitem a troca de dados entre os diversos dispositivos e equipamentos do sistema de automação.

De acordo com a arquitetura hierárquico apresentada na figura 17, cada nível hierárquico possui seu escopo de controle, com responsabilidades específicas, no nível 1 temos os dispositivos de campo e componentes do chão de fábrica como sensores, motores e atuadores, no nível 2 temos os dispositivos de controle e unidade terminal remota, no nível 3 temos os dispositivos de supervisão do processo constituído por, banco de dados, computadores, estação de operação e supervisor, e finalmente as redes de comunicação responsável por proporcionar a troca de dados entre dispositivos e os níveis.

Figura 17 - Arquitetura de hardware do sistema de automação



Fonte: BETA, SIEMENS, 2015, (adaptado pelo AUTOR)

5.3.2 Nível 1 - Dispositivos de campo

Os dispositivos de campo estão situados no nível 1 da hierarquia do sistema de automação e são responsáveis em atuar, medir, monitorar as variáveis do processo produtivo, estão diretamente interligados à planta ou equipamento a ser controlado e monitorado pelo sistema SCADA.

Dispositivos de atuação: São dispositivos que tem como função a atuação direta ou indireta no processo de fabricação de papel, de modo a atuar sobre o sistema, ligando e desligando determinados equipamentos e dispositivos. Podemos citar como exemplos: motores, acionamentos para movimento de rolos, válvulas hidráulicas, pneumáticas e outros.

Dispositivos de medição e monitoramentos: São dispositivos que convertem parâmetros físicos, tais como velocidade, posição, níveis, pressão e temperatura, gramatura, pH e outros, para sinais analógicos e digitais legíveis pela unidade terminal remota (RTU) ou conectados em rede de comunicação

com protocolo Profibus. O primeiro tem como função medir as variáveis de processo e o segundo tem como função monitorar as variáveis de processo e o posicionamento de equipamentos e dispositivos.

Acionamentos e CCM (Centro de Controle de Motores): São painéis elétricos que acomodam equipamentos para proteção, seccionamento e manobra de motores elétricos, podem ser do tipo partida direta, partida estrela-triângulo, partida soft-starter²⁹, inversor de frequência e outros. Normalmente os equipamentos possuem módulos de comunicação ou entradas e saídas físicas para troca de dados com o controlador.

5.3.3 Nível 2 – Controlador Lógico Programável

Os controladores lógicos programáveis são equipamentos largamente utilizados em ambientes industriais, considerando sua elevada capacidade de processamento, elevada confiabilidade e funcionamento em tempo real, foi projetado para controlar múltiplas entradas, saídas e também para aplicações em redes de comunicação, entre si e com um sistema supervisório.

São responsáveis pelo controle direto do processo produtivo, indicado para o controle de sequencias operacional, intertravamentos de processos discretos e contínuos, execução de malhas de controle através de algoritmos e funções matemáticas. Também realizam a interface com os dispositivos de campo e a integração da troca de dados com o sistema supervisório SCADA.

Além das características básicas, para atender ao processo de fabricação de papel e a arquitetura utilizada, o controlador deve estar apto a atender a linguagem de programação de alto nível conforme IEC 61131-3, confiabilidade operacional na categoria de segurança, comunicação em rede Ethernet Industrial, Profibus DP e possibilitar a configuração da prioridade de execução das tarefas.

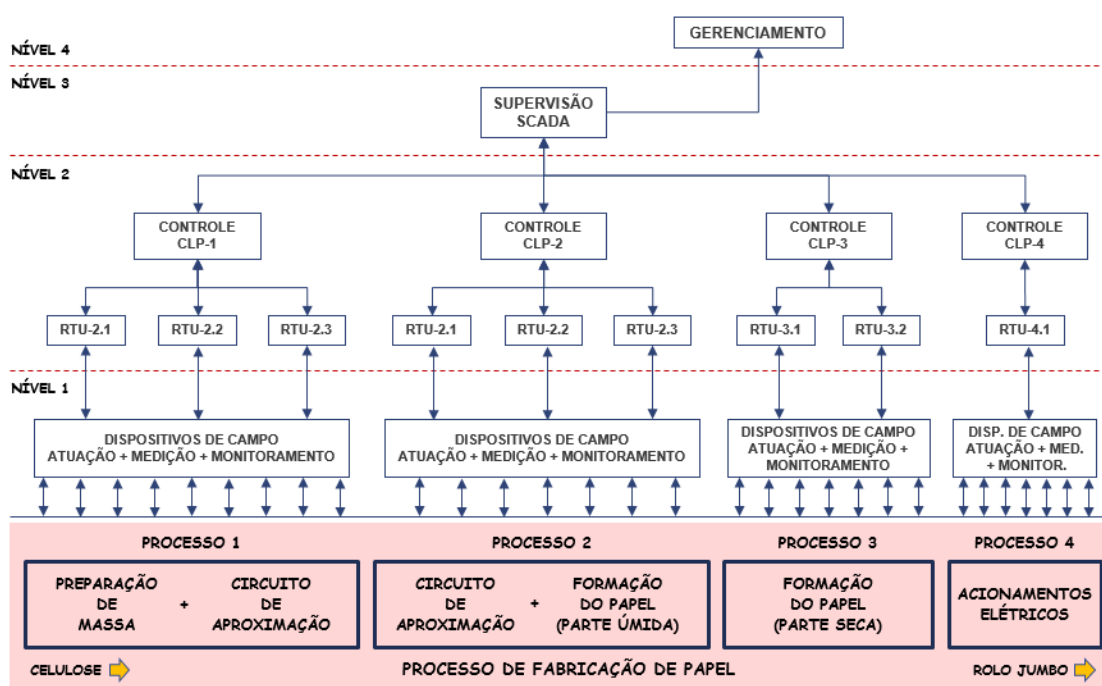
Levando em consideração a arquitetura de hardware apresentada, seus dispositivos e as longas distâncias físicas na indústria papeleira, as características do sistema de controle distribuído são as mais adequadas para a utilização, pois possibilitam, meios variados de comunicação, flexibilidade

²⁹ Soft-Starter – Dispositivo eletrônico destinado ao controle da partida de motores elétricos de corrente alternada.

para topologia de rede, softwares e ferramentas de desenvolvimento mais amigáveis.

Desta maneira, conforme apresentado na figura 18, o processo de fabricação foi dividido em 4 partes em função da necessidade do controle da produção, sendo cada uma delas apoiada no controle da produção com seu respectivo controlador e suas respectivas unidades remota, isto é, de forma a garantir o desempenho e a estabilidade requerida por parte do processo cada CLP assume o controle específico de determinada área, trocando informação diretamente com os dispositivos de campo para atuar no processo.

Figura 18 - Arquitetura sistema de controle distribuído



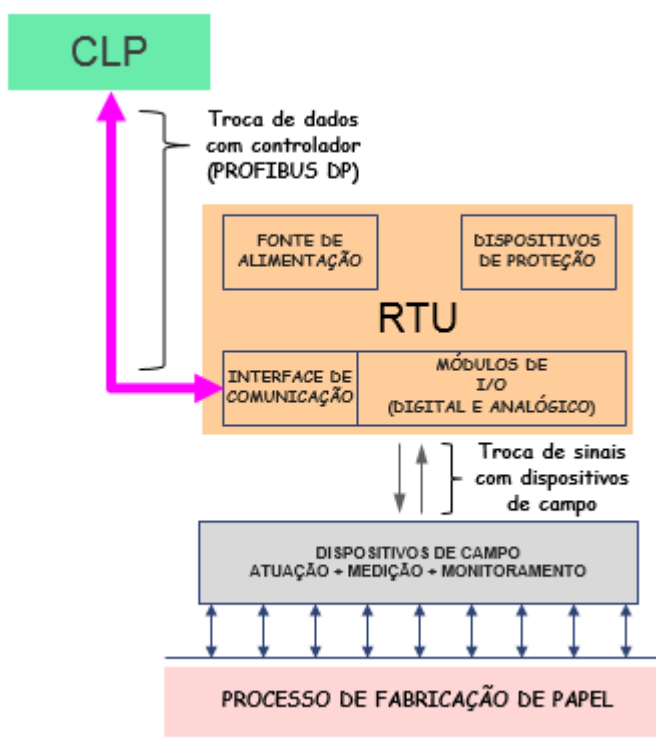
Fonte: AUTOR, 2015

Unidade Terminal Remota: A Unidade Terminal Remota, mais conhecido como RTU, são painéis elétricos que acomodam equipamentos eletroeletrônicos, tais como, fontes de alimentação, dispositivos de proteção, módulos para comunicação em rede, módulos de I/O digital e analógico.

Dentro da indústria papeleira, as RTUs são utilizadas em arquitetura de sistema de controle distribuído, alocadas de forma estratégicas na planta. Projetadas para operar em ambientes agressivos geralmente são localizadas

em campo próximo aos equipamentos e dispositivos do processo, que normalmente estão localizados distantes da estação de controle. Sua função é especificamente proporcionar a interface entre os dispositivos de campo e o controlador, sendo um dispositivo estritamente escravo, não podendo ser utilizado como controlador, mas é geralmente endereçável e dotada de interface de comunicação destinada exclusivamente ao controlador, não possibilitando também a comunicação com outras RTUs.

Figura 19 - Unidade Terminal Remota



Fonte: AUTOR, 2015

Conforme demonstrado na figura 19, as RTUs são responsáveis em receber e enviar dados do CLP via rede de comunicação Profibus DP, enviar e receber dados dos dispositivos de campo via módulos de I/O através da conexão por pares de fios. Desta forma, podem efetuar tarefas como, executar comandos através das saídas e receber informações do processo que está sendo monitorado através das entradas.

5.3.4 Nível 3 – Supervisório

Segundo OGATA (2000), o supervisório é visto como o conjunto de programas gerado e configurado no software básico de supervisão, permitindo programar as estratégias de controle e supervisão com telas gráficas para o interfaceamento entre o homem e a máquina, facilitando a visualização do contexto em que se aplica a aquisição e tratamento de dados do processo e o gerenciamento de relatórios e alarmes.

Os sistemas supervisórios situam-se no nível 3 da pirâmide de automação, e são definidos como sistemas com capacidade de exercer controle sobre um dado sistema físico e verificar a sua performance de acordo com a ação desejada. São sistemas que utilizam softwares específicos que viabilizam a integração dos equipamentos e dos controladores do processo, possibilita à monitoração das variáveis do processo, comandos remotos, alteração de parâmetros, valores de referência, visualização gráfica da planta industrial e a monitoração de alarmes. São implementados em computadores e possuem uma interface que permite a entrada de parâmetros manualmente, além de gerar relatórios e a representação pictórica do processo (ANDRADE; BURIAN, 2008).

Assim como não existe uma arquitetura do sistema de automação industrial que represente a solução ideal, também não existe um sistema supervisório ideal para todas as aplicações no processo de fabricação de papel, cada fábrica tem aspectos de operação particular em função do processo e do produto fabricado, porém, em grande maioria, as novas plantas convergem para algumas características semelhantes, entre elas podemos citar o aspecto físico do ambiente industrial complexo e geograficamente disperso, geralmente as mesmas variáveis de controle no processo de fabricação, o controle do processo na sala de operação, o sistema de automação híbrido, as mesmas necessidade de integração do sistema de automação assistidos por redes de comunicação, computadores, controladores, RTUs, entre outros, e conseqüentemente poderá utilizar a mesma metodologia para desenvolvimento da integração do sistema de automação proposto pelo autor no item 5.2, onde foi utilizado o supervisório SCADA. De uma forma generalizada, as empresas de fabricação de papel

podem utilizar o sistema SCADA, levando em consideração que, não se consiste em uma solução pronta, sendo que cada processo deve ser estudado e desenvolvido de acordo com o tipo de papel produzido podendo ser utilizado a mesma metodologia.

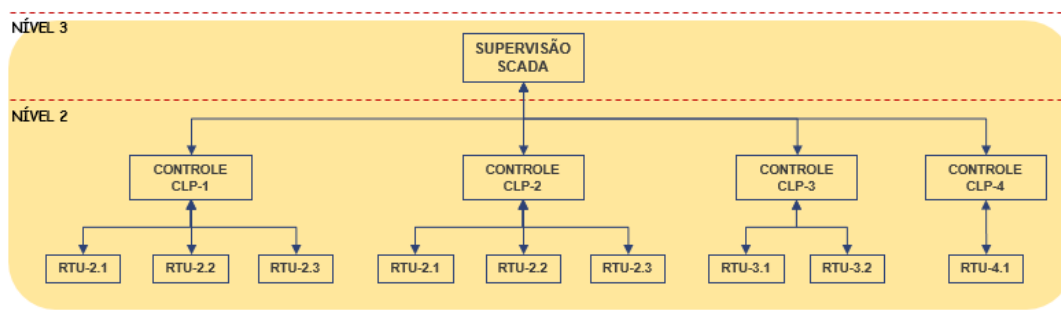
Sistemas SCADA: O termo SCADA vem do inglês “*Supervisory Control And Data Acquisition*”, ou Controle Supervisório e Aquisição de Dados, definido também como, um sistema que utiliza software específico funcionando em computadores para monitorar e controlar um processo produtivo ou instalação física, através da troca de informação entre uma estação central e uma ou mais unidades remotas. Através desses equipamentos é feita a aquisição de dados dos dispositivos de campo, fazendo-se necessário a utilização de redes de comunicação para atingir tal objetivo. As informações coletadas são analisadas, manipuladas, armazenadas e posteriormente apresentadas ao usuário através de uma interface gráfica de alto nível (CONSTAIN, 2011) (CABÚS; NAVARRETE; PORRAS., 2004).

Em geral, na indústria papelreira, o objetivo principal do sistema SCADA é propiciar a interface do operador com o processo, informando-o em tempo real de todos os eventos de importância, melhorando a eficiência de monitoração e controle do processo de fabricação de papel. Esta solução pode ser executada em uma ou em várias estações de operação, permitindo aos usuários realizar remotamente mudanças de valores de referência em controladores, abrir e fechar válvulas, ligar e desligar motores, monitorar alarmes e trazer valores de medições de locais geograficamente distribuídos na planta para a sala de operações, através de um conjunto de telas de operação, telas de tendências, relatórios e outras, de modo a permitir as tomadas de decisões operacionais apropriadas, quer automaticamente, quer por iniciativa do usuário, com performance e segurança. Outro objetivo do sistema SCADA é coordenar as funções de aquisição e de armazenamento de dados em tempo real dos diversos dispositivos localizados remotamente na planta (PIRES; OLIVEIRA; BARROS, 2004).

Porém, esta solução envolve todos os níveis hierárquicos da automação industrial, desde o nível dos dispositivos de chão de fábrica até o nível gerencial da empresa, permitindo uma automação homogênea e

personalizada em todos os setores da indústria, apresentando software robusto e confiável para aplicações de grande porte e sistemas de controle distribuído. A figura 20 apresenta a arquitetura básica no sistema SCADA com CLP, e RTUs.

Figura 20 - Arquitetura básica do sistema SCADA com CLP e RTUs



Fonte: AUTOR, 2015

O sistema SCADA utilizado como supervisor na fabricação de papel está representado no nível 3 da arquitetura de hardware, sendo, constituído basicamente por computadores com funções específicas e software.

Os computadores são equipamentos responsáveis pela execução de diversas funções como, gerenciamento, otimização, armazenamento de dados, configuração, monitoração e controle geral do processo. No sistema em estudo, os computadores podem ser classificados como: estação de operação³⁰, estação de engenharia³¹ e servidor³², e os quais são explicados a seguir.

Estação de Operação: São computadores utilizados apenas como interface de operação do programa aplicativo executado no servidor, basicamente consiste em uma função de cliente servidor, permitindo a interação segura do operador com o processo de fabricação de papel através das telas sinóticas, gráficos, relatórios e alarmes. São computadores com média confiabilidade, média capacidade de processamento, média capacidade de memória e baixa capacidade de armazenamento de dados.

³⁰ Estação de Operação (OS-Client)

³¹ Estação de Engenharia (ES)

³² Servidor (OS-Server)

Para aumentar a confiabilidade e a disponibilidade aos operadores, será possível a operação em quatro estações, OS1, OS2, OS3 e OS4, com as mesmas configurações e interface de operação. Conforme projeto, as quatro estações estão instaladas na mesma sala de operação, porém existe a possibilidade de serem instaladas em locais diferenciados de acordo com as necessidades do processo.

Estação de Engenharia: São computadores utilizados para a configuração e a programação dos aplicativos do CLP, do aplicativo supervisor SCADA, das redes de comunicação, dos dispositivos de campo conectados em rede, dos aplicativos de operação, desenvolvimento das telas de operação, manutenção e verificação da produção. São computadores com média confiabilidade, média capacidade de processamento, média capacidade de memória e média capacidade de armazenamento de dados.

Servidor: São computadores responsáveis em executar o programa aplicativo do supervisor SCADA, em adquirir dados de processo dos controladores, gravar os dados no histórico de alarmes, eventos e variáveis do processo, são executados também os programas de análise e otimização do processo, gerenciamento, acompanhamento da produção e permitem que os dados de chão de fábrica sejam temporariamente armazenados. São computadores com elevada confiabilidade, elevada capacidade de processamento, elevada capacidade de memória e elevada capacidade de armazenamento de dados.

Para aumentar a confiabilidade do sistema supervisor, estamos trabalhando com a configuração de servidor redundante a quente ou "*Hot Stand By*" sincronizados em alta velocidade e software para monitoramento de falha, que se necessário, pode ocorrer o chaveamento para o servidor reserva automaticamente e a operação continue sem perda de dados.

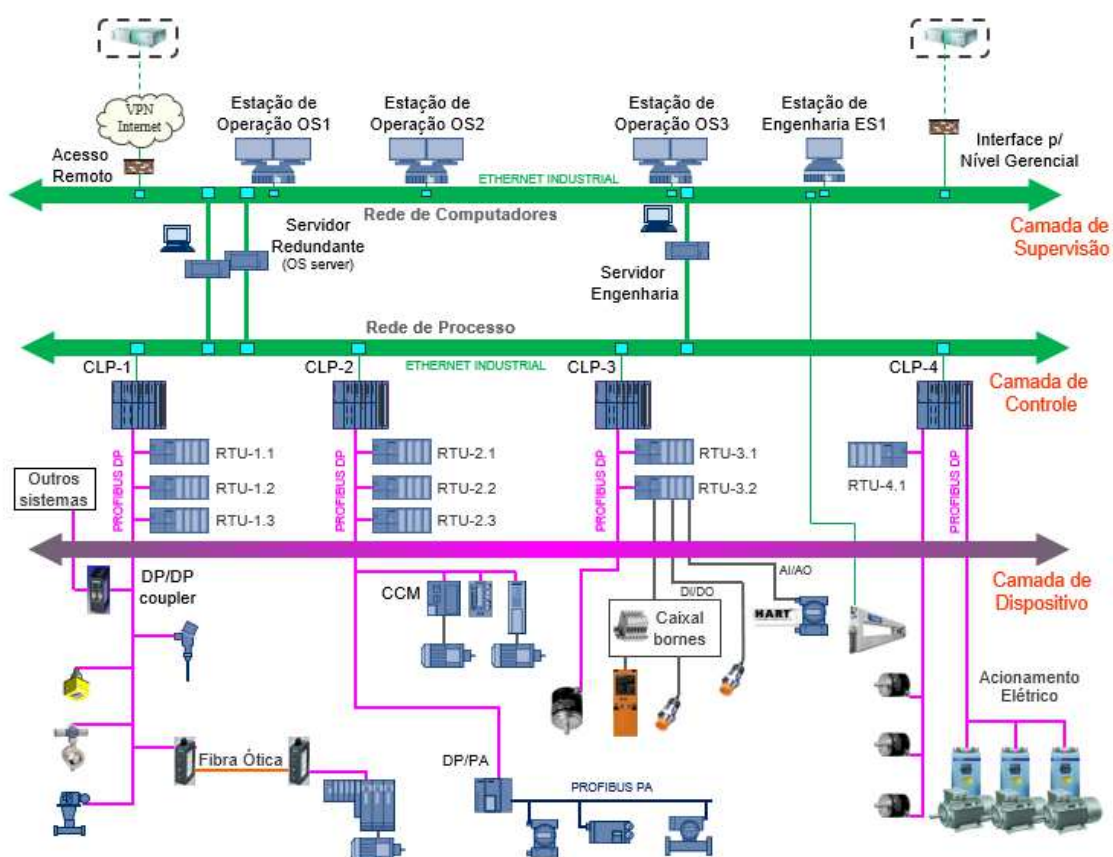
5.3.5 Redes de Comunicação

A arquitetura de hardware aplicada ao processo de fabricação de papel, apresentada no item 5.3.1, está estruturada em níveis alocados uma sobre a outra permitindo a troca de dados entre os níveis. A troca de dados entre os equipamentos e sistemas de diferentes níveis, é denominada de comunicação

horizontal, enquanto a troca de dados entre níveis adjacentes é denominada de comunicação vertical, esta troca de dados é realizada através de redes com diferentes características e requisitos, assim, na maioria das vezes, um único padrão de rede (topologia, protocolo, meio físico, etc.) não atende a todos os níveis, sendo necessária a utilização de diferentes redes de comunicação para atender ao sistema.

Desta forma, a figura 21 apresenta as redes industriais e a classificação em um modelo de três camadas dispostas da seguinte forma: Camada de Dispositivos, Camada de Controle e Camada de Supervisão.

Figura 21 - Camadas de redes de comunicação



Fonte: BETA, SIEMENS, 2015, (adaptado pelo AUTOR)

Para atender tal demanda, deve-se levar em consideração que, o volume de dados tem um aumento significativo da camada de dispositivos para

a camada de supervisão, entretanto o tempo de resposta dos dados trafegados diminui da camada de dispositivos para a camada de supervisão.

Camada de Dispositivos: É a rede de comunicação responsável pela troca de dados entre o chão de fábrica e o CLP. Esta camada tem como objetivo promover as ações em campo como, atuar, medir, monitorar, acionar motores, inversores e outros dispositivos. Independente do meio físico, estas redes devem atender requisitos de desempenho tais como; alto tempo de varredura para leitura cíclica dos dispositivos, determinismo no tempo, capacidade de comandar diversos dispositivos sincronamente, devendo atender as seguintes características: confiabilidade, capacidade de diagnóstico, padrão internacional, padrão aberto e capacidade de expansão futura.

Entretanto, para atender as necessidades do processo, a camada de dispositivos está subdividida em três redes, sendo:

- Rede de sensores, que transmite sinais discretos contendo simples informações, em geral este formato é transmitido por dispositivos conectados à fiação ponto a ponto, necessitando de pares de cabos entre o dispositivo e o módulo de E/S;
- Rede de instrumentação, que realiza a integração dos instrumentos de campo, tais como transmissores de vazão, pressão, temperatura, nível, válvulas de controle e demais dispositivos com protocolos PROFIBUS PA para atender aos requisitos dinâmicos da automação do processo, permitindo assim, a comunicação entre o processo e os controladores lógicos programáveis.
- Rede de dispositivos, que permite interligar dispositivos mais complexos, tais como, as RTUs, CCMs³³, encoder, dispositivos de medição, e outros dispositivos utilizando o protocolo PROFIBUS DP, permitindo assim, a comunicação entre o controlador mestre e os dispositivos de campo escravo.

O protocolo de comunicação PROFIBUS é um padrão de rede de campo aberto e independente de fornecedores, permitindo uma ampla aplicação em automação industrial tanto na área de processo como na manufatura. O padrão

³³ Centro de Controle de Motores

PROFIBUS foi firmemente estabelecido com a implantação da norma IEC61158, nas quais estão as especificações segundo o modelo OSI³⁴.

As funções do protocolo PROFIBUS DP estão distribuídas por três níveis de desempenho, DP-V0, DP-V1 e DP-V2. A versão DP-V0 fornece a função básica do protocolo de comunicação, incluindo comunicação cíclica de dados, assim como módulos específicos de diagnóstico e diagnóstico específico do canal para uma rápida localização de falhas. Complemento da versão DP-V0, a versão DP-V1 contém solicitações para automação de processos, com funções de comunicação de dados acíclica para parametrização, operação, monitoração e gerenciamento de alarmes. Isto permite acesso on-line para nós de comunicação por meio de ferramentas de engenharia. E finalmente, a versão DP-V2, que contém funções adicionais da extensão DP-V1, e provê funcionalidades mais sofisticadas, principalmente em termos de tecnologia de drives, controle de sequências rápidas e sistemas de segurança, assim como comunicação entre escravos e gerenciamento de clock.

Para do processo de fabricação de papel, a rede PROFIBUS DP foi utilizada para comunicação entre o controlador e os dispositivos de campo, incluindo as RTUs, CCMs e instrumentos, configurada na versão DP-V1 com velocidade operacional de até 1,5Mbps, utilizando a topologia física tipo barramento e árvore, onde o controlador é o dispositivo mestre e troca informação com os dispositivos periféricos escravos. Alguns procedimentos básicos são de extrema necessidade para garantir o desempenho, tais como: limitação do comprimento máximo de 100metros e o máximo de 32 nós de endereçamentos em cada ramo da rede, com a utilização de repetidores para segmentar a rede foi possível aumentar o comprimento da rede em até 200metros e incluir nós adicionais, mantendo a velocidade operacional de 1,5Mbps, conforme a necessidade do processo.

A rede PROFIBUS PA também foi utiliza para atender os requisitos da automação do processo de fabricação de papel, permitindo a alimentação do instrumento e a transmissão de dados sobre o mesmo par de fios baseado na

³⁴ O modelo Open Systems Interconnection (Interconexão de Sistemas Abertos) tem como objetivo estabelecer um padrão para protocolos de comunicação entre os diversos tipos de sistemas, e assim garantir a comunicação entre eles.

tecnologia IEC 61158-2, que está sobre o mesmo protocolo de comunicação do PROFIBUS DP, ou seja, os valores e o estado dos dispositivos de campo PA são transmitidos ciclicamente com alta prioridade, isto assegura que um valor de medição e seu estado estão sempre atualizados e disponibilizados no sistema de controle. Por outro lado, os parâmetros dos dispositivos para visualização, operação, manutenção e diagnóstico são transmitidos pelos terminais de engenharia com as funções DP acíclicas de baixa prioridade.

A conexão com o CLP é feita por meio de um acoplador DP/PA. Uma das grandes vantagens do protocolo Profibus PA é o suporte a intercambiabilidade e a interoperabilidade de dispositivos de campo PA independente do fabricante, usando o internacionalmente reconhecido modelo de blocos funcionais que descrevem parâmetros e funções dos instrumentos, outra vantagem a se considerar, é que este protocolo também é utilizado em substituição ao padrão 4 a 20mA. Alguns procedimentos básicos também são de extrema necessidade para garantir o desempenho da rede, tais como: respeitando o limite máximo de 8 distribuidores ativo de campo, com um total de até 31 dispositivos de campo conectados por segmento, o limite máximo de consumo de 1A para alimentar todos os dispositivos no mesmo segmento e a máxima distância, que varia de acordo com o número de dispositivos conectados no segmento.

Camada de Controle: Na camada de controle há um volume considerável de troca de dados, pois além de proporcionar o controle do processo, também é o nível que estabelece a interface de comunicação entre o chão de fábrica e o sistema supervisão, requerendo que grandes pacotes de dados sejam transferidos em inúmeras e poderosas funções de comunicação, utiliza o meio físico de fibra ótica e ethernet industrial no modelo ISO com endereço MAC³⁵ e um protocolo proprietário para efetuar e gerenciar a troca de dados. Esta rede deve atender aos requisitos de padrão internacional de comunicação, alto desempenho na velocidade de transmissão, capacidade de expansão futura, e finalmente a possibilidade de adição de redundância.

³⁵ O endereço Media Access Control (controle de Acesso ao Meio) é um endereço físico e único que identifica cada dispositivo conectado a rede.

Outra forma que apresenta uma melhora no desempenho da rede é a utilização de *switches* que permitem fazer o encaminhamento inteligente das mensagens, eliminando as colisões entre pacotes de segmentos diferentes, não retransmitindo mensagens a todas as portas, mas apenas àquela onde estará o receptor da mensagem, permitindo assim, reduzir o tráfego na rede. Desta forma, a topologia da rede em anel com fibra óptica, garante a velocidade da troca de dados em 1 Gigabits/seg., evitando as interferências eletromagnéticas e atendendo absolutamente aos requisitos de velocidade e confiabilidade necessária ao processo de fabricação de papel.

Inicialmente o protocolo Ethernet não foi concebido para aplicações em automação industrial, não apresentando algumas características desejáveis em ambientes de controle em tempo real, como determinismo e segurança na transmissão dos dados. No entanto, a rede Ethernet passou por uma longa evolução nos últimos anos, se constituindo na rede de melhor faixa e desempenho para uma variada gama de aplicações industriais. As velocidades da rede cresceram de 10 Mbps para 100 Mbps e agora alcançam a velocidade de 1 Gbps (IEEE802.3z ou Gigabit Ethernet).

Camada de Supervisão: Esta camada de comunicação é responsável pela supervisão e controle operacional de todo o processo de fabricação de papel, onde, todos os equipamentos estão conectados aos switches da rede de computadores e estão fisicamente instalados na sala de operação, que normalmente está localizada no nível da máquina de papel.

Assim como na camada de controle, a camada de supervisão também utiliza switches, que permitem fazer o encaminhamento inteligente das mensagens, eliminando as colisões entre pacotes de segmentos diferentes, não retransmitindo mensagens a todas as portas, mas apenas àquela onde estará o receptor da mensagem, permitindo assim, reduzir o tráfego na rede. Desta forma, a topologia da rede em anel com fibra óptica, garante a velocidade da troca de dados em 1 Gigabits/seg., evitando as interferências eletromagnéticas e atendendo absolutamente aos requisitos de velocidade e confiabilidade necessária ao processo de fabricação de papel.

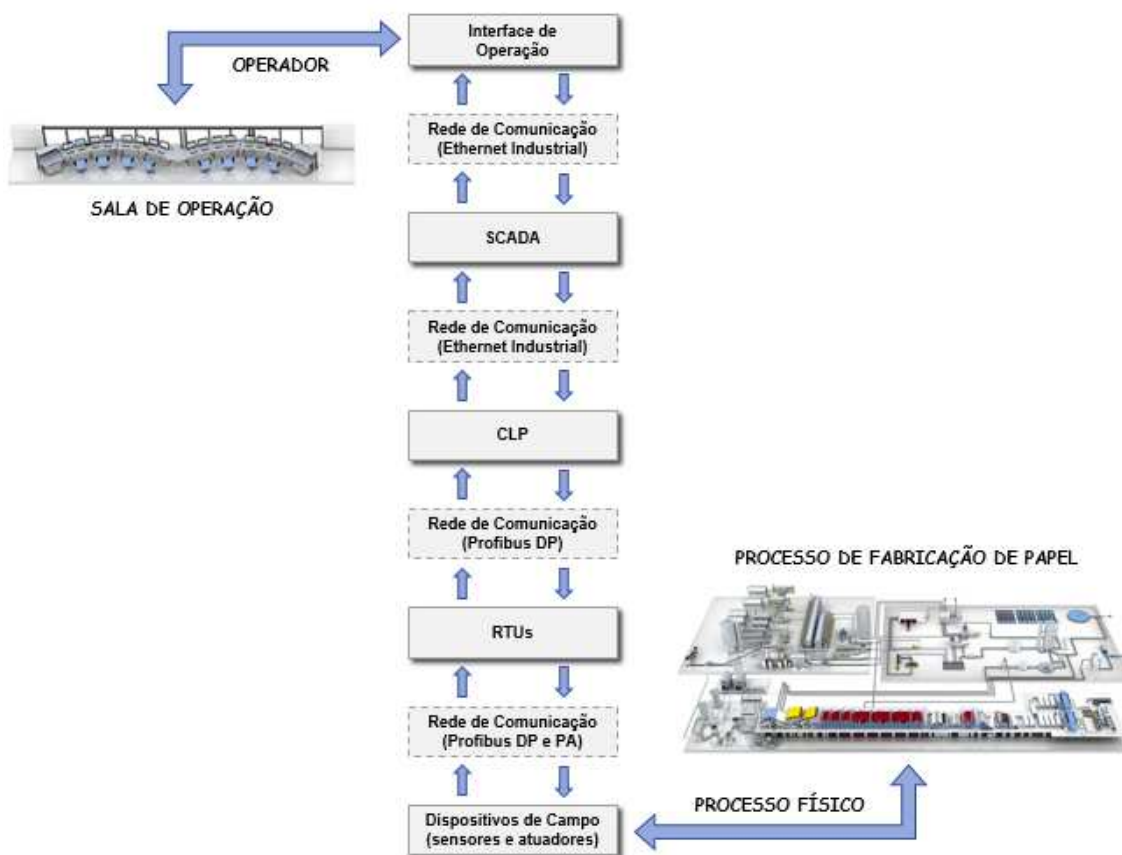
No processo de fabricação de papel, onde temos diversos computadores operando na planta, existe a necessidade de se estabelecer um critério de

como será feita a aquisição de dados dos CLPs, e demais equipamentos inteligentes do chão de fábrica e a forma como estes dados serão repassados para as várias interfaces de operação. Para atingir a melhor performance da rede, o sistema SCADA requisita os dados aos CLPs e disponibiliza tais dados para os outros componentes ou sistemas através da rede entre os computadores, rede de computadores, totalmente independente da rede dos CLPs, rede de processo. A transferência de dados entre os computadores é feita à grande velocidade empregando a rede Ethernet e a filosofia cliente/servidor. Nesta configuração, o CLP é o cliente do SCADA e do processo, ou seja, sendo o SCADA servidor, ele é o responsável em iniciar todas as comunicações, enquanto o CLP responde às requisições do servidor.

Deste modo, os servidores estão conectados tanto na rede do processo, camada de controle, como na rede de computadores, camada de supervisão, proporcionando o gerenciamento da comunicação entre o processo e os operadores, através das estações de operação e também dos dados do chão de fábrica para o nível gerencial da planta, assim como o acesso remoto a unidade fabril. Desta forma, para elevar a disponibilidade do sistema, os dois servidores trabalham em sincronismo, garantindo que no caso de falha ocorra o chaveamento para o servidor *standby* e a operação continue sem perda de dados.

De acordo com o exposto, a figura 22, apresenta o diagrama de bloco que representa a arquitetura do sistema de automação, desde o processo físico de fabricação de papel até a sala de operação, relacionando componentes do sistema, dispositivos de campo, redes de comunicação, fluxo de dados e a interface de operação.

Figura 22 - Arquitetura em blocos do sistema



Fonte: CONSTAIN, 2011, (adaptado pelo AUTOR)

5.4 RESULTADOS OBTIDOS

É sabido que o processo de fabricação de papel é uma tecnologia multidisciplinar, onde a maior parte do processo de produção consiste em uma série de operações e subsistemas correlacionados, surgindo assim, a necessidade de se tornar um sistema automatizado e integrado para garantir a operabilidade do processo, a qualidade do papel e a eficiência de produção.

Conforme descrito anteriormente, o sistema convencional de automação para fabricação de papel é deficiente, proporcionando interface de operação limitada, banco de dados não padronizados e incompletos, registro de falhas insuficiente para auxiliar a solução de anomalia, tempo de estabilidade do processo elevado, falta de controle sobre o processo como um todo, entre outros, entretanto, com a aplicação da metodologia proposta para a integração

da automação e a utilização do SCADA foi possível alterar este cenário, seguem abaixo algumas evidências dos resultados obtidos nesta integração.

5.4.1 Interface de operação

Como já mencionado anteriormente, um dos principais objetivos do sistema SCADA é propiciar a interface do operador com o processo, informando-o em tempo real de todos os eventos de importância para a monitoração e controle do processo de fabricação de papel, ou seja, visa facilitar a interação do usuário com o chão de fábrica.

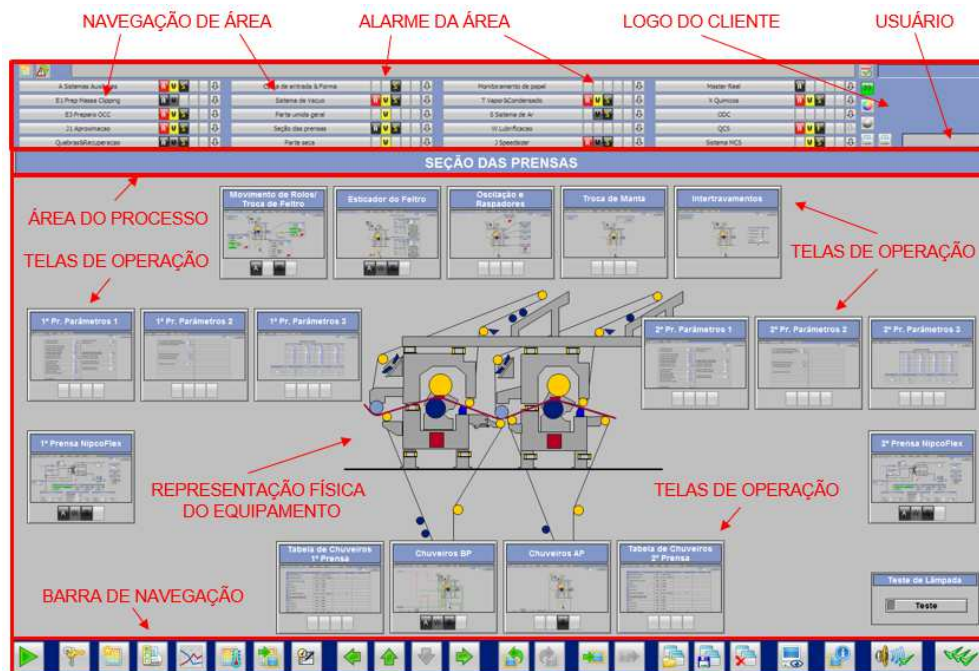
Seguindo neste objetivo, para se alcançar uma visão detalhada do processo de fabricação de papel, as telas do supervísório foram desenvolvidas utilizando como referência a ordem adequada do processo, a representação da planta e da máquina, adotando uma série de critérios ergonômicos tendo por base o tamanho da imagem, a definição de cores, brilho, padrões de terminologia, simbologia, nomes e barras de navegação entre as telas do processo.

A hierarquia de navegação consiste em uma série de telas que fornecem progressivamente detalhes do processo, geralmente são projetadas barras de navegação, com botões que deem uma ideia do conteúdo da tela a ser chamada. A boa organização da navegação torna o sistema claro e condizente com a realidade, guiando o serviço do usuário.

Devido à complexidade e a extensão do processo, as telas são divididas em áreas específicas e equipamentos, nem sempre, esta divisão obedece ao aspecto físico de instalação, entretanto, são construídas de forma a privilegiar a operação e o entendimento do processo. As chamadas telas de grupos proporcionam ao usuário uma visão global do processo, unidade ou área que representa, além da representação física do equipamento, nesta tela o usuário encontra os ícones de navegação para as demais áreas, visualização dos alarmes das áreas, e a navegação para as telas de operação da área em questão e barra de navegação.

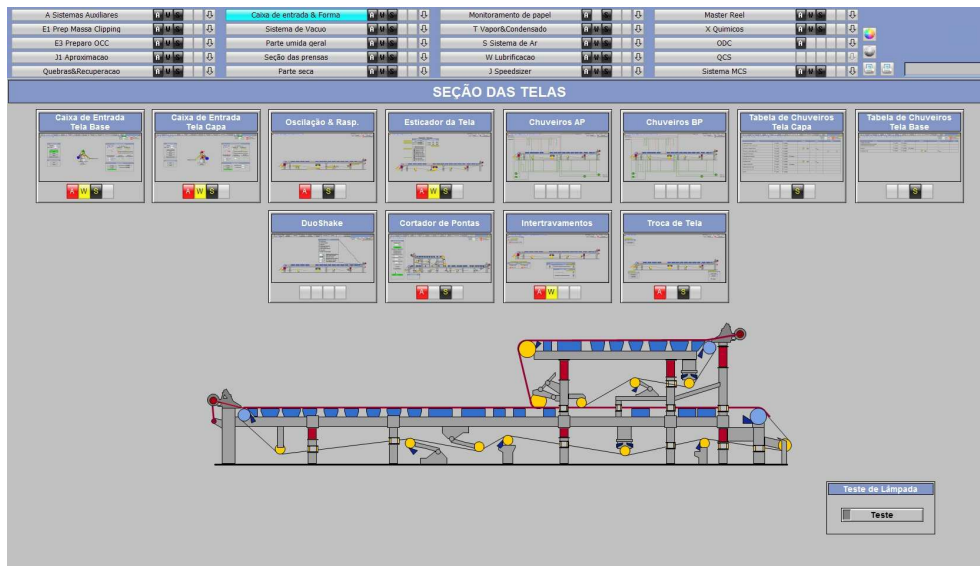
A figura 23 apresenta a tela de grupo da seção das prensas e as descrições dos campos conforme mencionado.

Figura 23 – Tela de grupo da seção das prensas



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

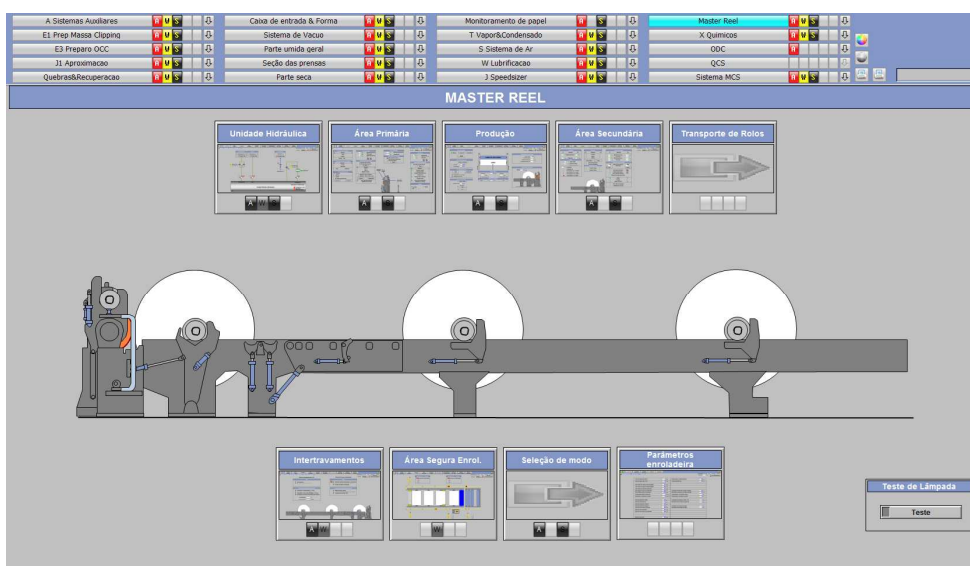
Figura 24 - Tela de grupo da seção das telas formadoras



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 24 apresenta a tela de grupo da seção das telas formadoras, com as telas de operação para navegação, enquanto a figura 25 apresenta a seção de enrolamento, também chamadas de *Master Reel*.

Figura 25 – Tela de grupo da seção de enrolamento

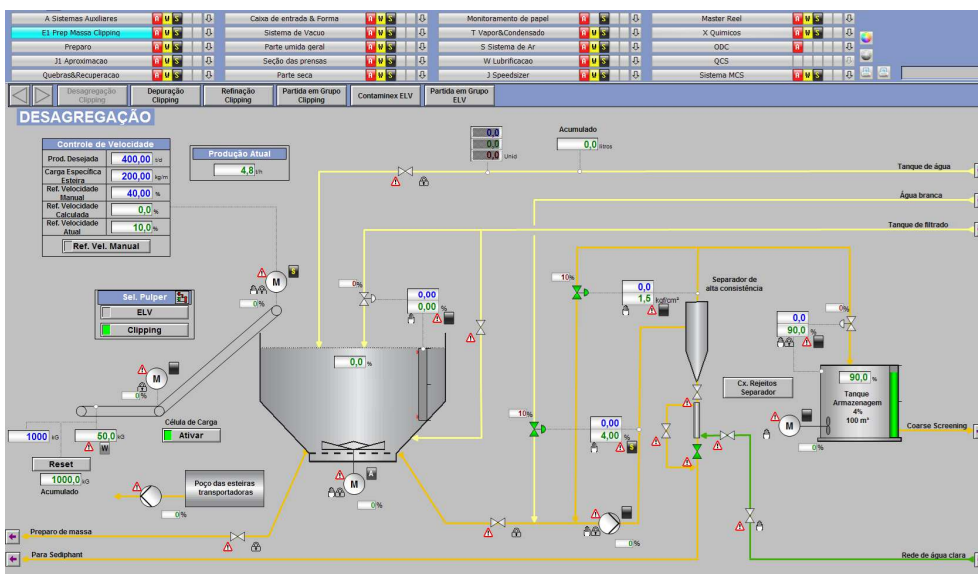


Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

Para monitoração e a intervenção no processo, o usuário utiliza as telas de operação, são telas que atendem a pontos e equipamentos específicos, permitindo ao operador acionar equipamentos através de comandos tipo, abre/fecha válvula, liga/desliga motor e alterar parâmetros de controle ou supervisão, tais como valor de referência, limites de alarme, modo de controle e mudança de modo de operação. Assim como nas telas de grupo, os ícones de navegação e informação de alarme permanecem visíveis para um rápido acesso caso necessários.

A figura 26 apresenta a tela de operação da seção de desagregação, início do processo de fabricação do papel, nesta tela é possível controlar a velocidade da esteira, visualizar a informação da produção atual, os valores em porcentagem da abertura das válvulas, identificar as válvulas que estão abertas ou fechadas, o nível do tanque, botões de navegação para as telas sequenciais das linhas de produtos e demais informações de alarmes.

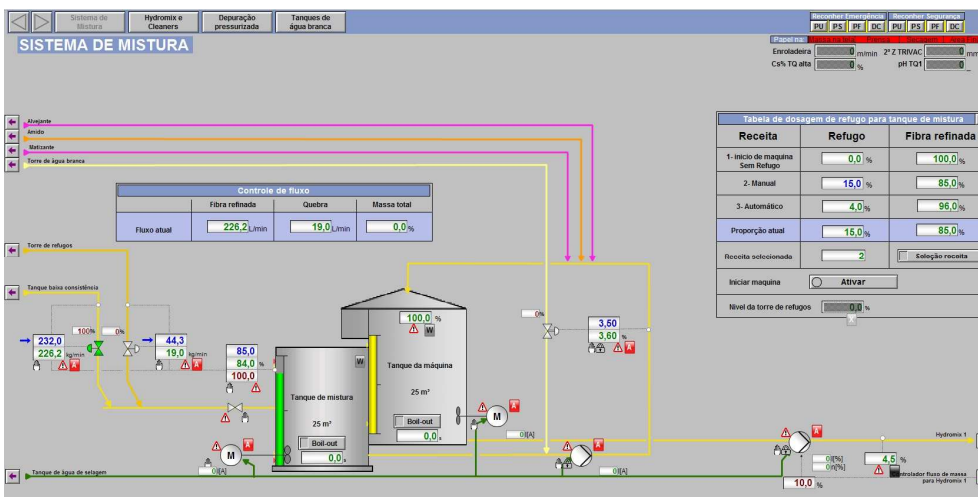
Figura 26 – Tela de operação da seção de desagregação



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 27 apresenta a tela do sistema de mistura com a adição de aditivos, a linha de água na sucção da bomba do tanque de mistura para controle da consistência, a bomba do tanque de máquina para controle da gramatura, a tabela de receita de dosagens entre outros.

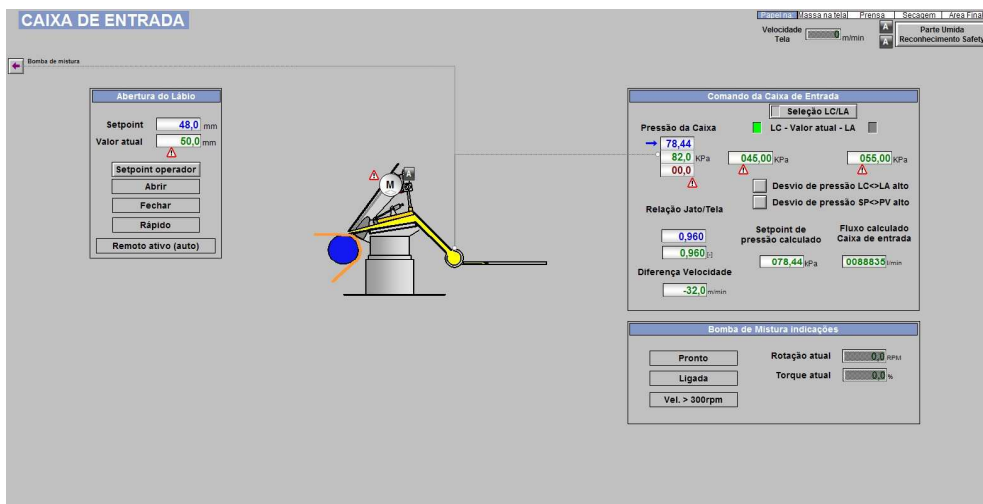
Figura 27 – Tela do sistema de mistura e controle de consistência



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 28 apresenta a tela de operação da caixa de entrada com os comandos de abertura do lábio, relação jato/tela, pressão da caixa e outras informações relevante para o operador.

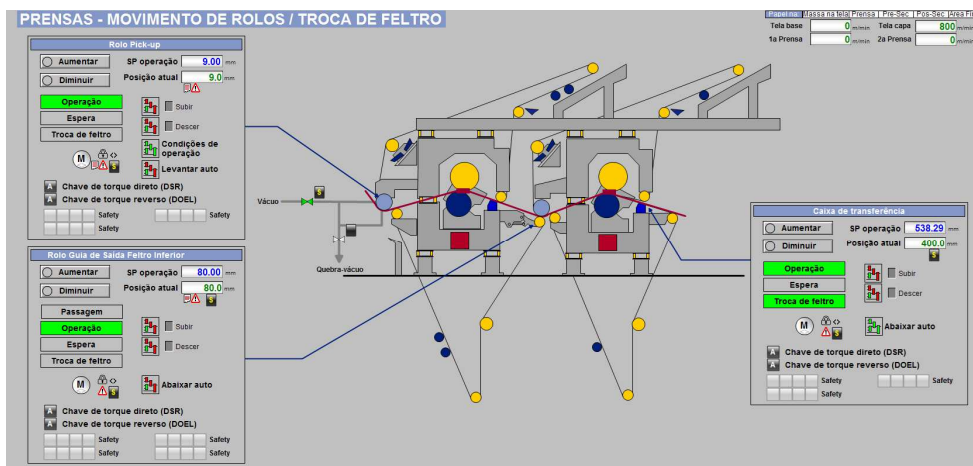
Figura 28 – Tela da caixa de entrada



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 29 apresenta a tela de operação de movimento de rolos e troca de feltro com os comandos para o rolo pick-up, esticadores, condições de operação, intertravamentos entre outros.

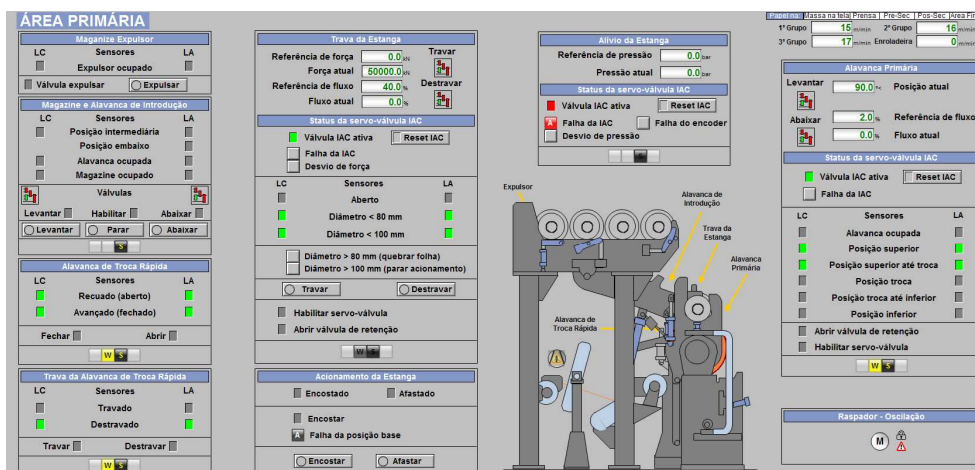
Figura 29 – Tela de operação de movimento de rolos das prensas



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 30 apresenta a tela de monitoramento da área primária da enroladeira, com as informações dos sensores, valores de referência, botões de comando, informações de alarmes e lógicas de intertravamentos.

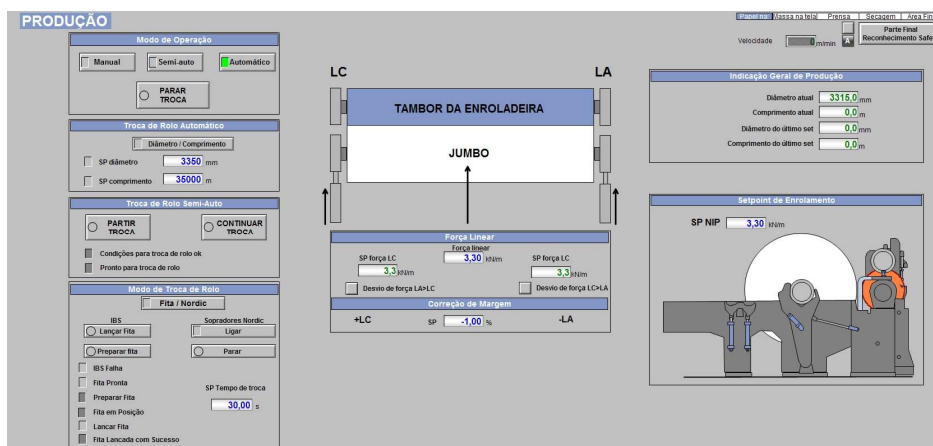
Figura 30 - Tela de operação da área primária da enroladeira



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 31 apresenta a tela de operação da enroladeira, com as informações gerais de produção como diâmetro atual, comprimento do papel, força linear de enrolamento, e comandos para troca de bobina, modo de operação entre outros.

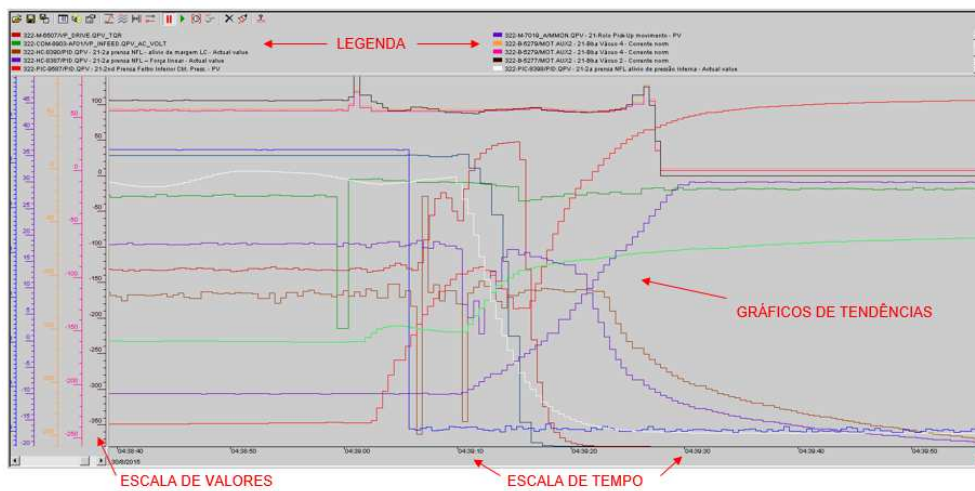
Figura 31 – Tela de operação da Enroladeira



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

As telas de gráficos de tendências são telas que apresentam diversas variáveis simultaneamente na forma gráfica com valores coletados em tempo real ou na forma de histórico dos valores de arquivos armazenados no banco de dados. A figura 32 apresenta um exemplo de tela de tendências com legenda na parte superior da tela, escala de valores na lateral, escala de tempo na parte inferior e os gráficos de tendências com diferentes cores para se conseguir uma fácil comparação dos dados.

Figura 32 – Tela de tendências



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

Figura 33 – Tela de consumo do processo



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 33 apresenta um exemplo de telas de consumo do processo, onde é possível verificar diversas informações do processo em tempo real, como consumo de vapor, vácuo, água, carga mineral entre outros, estes dados também são enviados ao banco de dados para consulta posterior caso necessário.

5.4.2 Soluções de problemas

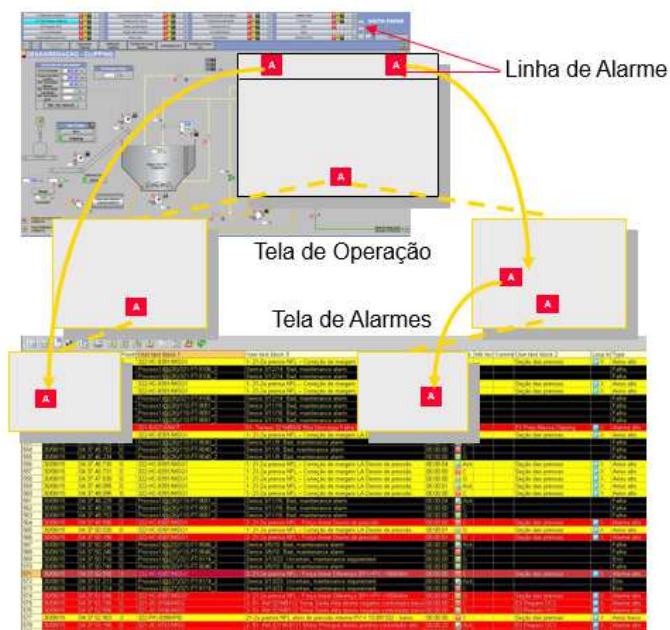
Um dos primeiros passos para a solução de problemas é definir e identificar as variáveis do processo que necessitam ser monitoradas, em seguida definir um sistema de aquisição de dados de alta velocidade, onde hardware e software são ferramentas indispensáveis no esforço de solução de problemas.

Desta forma, os processos e metodologias que visam à coleta de dados em tempo real podem identificar desvios prematuros a fim de auxiliar procedimentos e ações de manutenção preventivas, preditivas. O registro histórico de problemas e anomalias que ocorrem diariamente nos permite um estudo mais aprofundado do problema para propor soluções e auxilia na redução do tempo da manutenção corretiva. Assim, quando estes dados e registros são armazenados em bancos de dados, permitem uma consulta posterior para identificar possíveis problemas na produção, na máquina, ou ainda utilizados como dado consolidado para identificar tendências.

Esta nova configuração permite ao usuário detectar a causa da falha de forma rápida, precisa e amigável, utilizando ferramentas como o gerenciamento de alarmes e o conjunto de diagnose.

O gerenciamento de alarme é uma estrutura hierarquizada, onde os alarmes são separados de acordo com a severidade e tipo, tendo como objetivo principal facilitar a tomada de decisão por parte do operador e auxiliar no filtro das informações e no diagnóstico. A severidade está separada em três níveis, de 0 a 3, sendo, o nível 0 de menor criticidade e o nível 3 de maior criticidade e com grande potencial da parada de produção. Quanto ao tipo do alarme, temos; tipo "S" para falha de equipamento ou do sistema, tipo "W" para avisos de processo e tipo "A" para alarmes de processo.

Figura 34 – Navegação para tela de alarmes



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

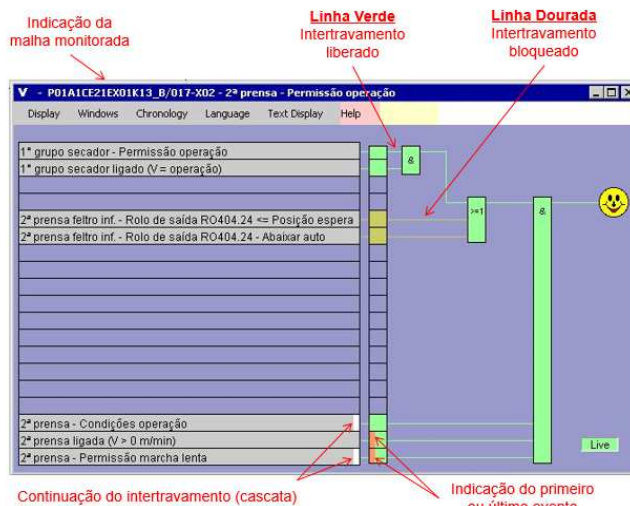
Conforme apresentado na figura 34, as telas de alarmes do supervísório tem a função de informar as anomalias do processo e em equipamentos, permitindo a navegação de forma rápida, intuitiva e flexível à informação do alarme, através de saltos desde o sumário de alarmes direto para a tela gráfica correspondente, dispõem também de informações como, data, horários, descrição do alarme, tag do dispositivo, status, tempo de permanência e área onde ocorreu a anomalia.

O conjunto de diagnose é uma ferramenta que permite ao usuário detectar a causa da falha, também de forma rápida e intuitiva, ou seja, é através desta ferramenta que o usuário, operador ou manutenção, tem a possibilidade de identificar o ponto inicial da anomalia ou o equipamento de rede que apresenta a falha.

Através das telas de diagnóstico de intertravamentos, figura 35, o usuário pode visualizar a lógica de funcionamento semelhante ao programa do CLP, este aplicativo possui um sistema que memoriza qual foi o primeiro ou último evento a ocorrer naquele intertravamento. Este evento permanece memorizado até a próxima ocorrência ou até que o operador reset a falha. Esta ferramenta permite também monitorar as condições dos blocos lógicos, se suas

entradas estão habilitadas e ainda permite ao usuário continuar a navegar nas lógicas de intertravamento de forma a identificar a origem da ocorrência da falha.

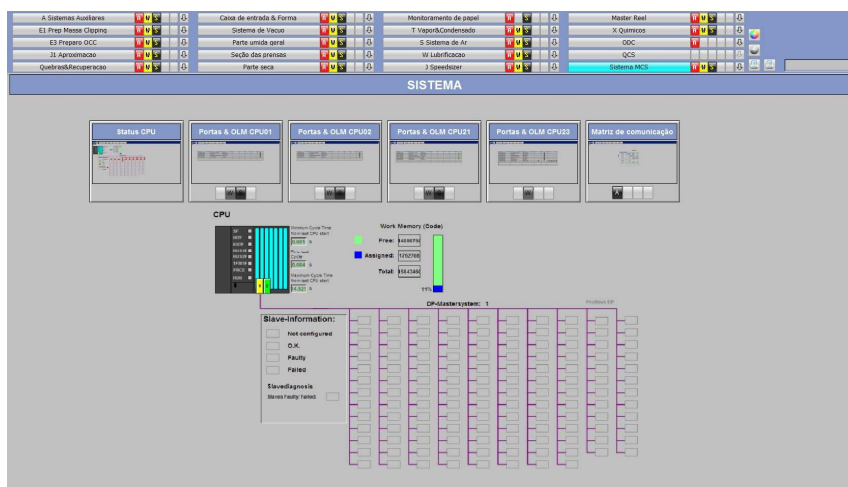
Figura 35 – Tela de diagnóstico de intertravamentos



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

O sistema também contempla uma tela de sistemas, figura 36, onde o operador e a manutenção pode navegar e verificar as condições de funcionamento e a operabilidade das redes de comunicação de todo sistema.

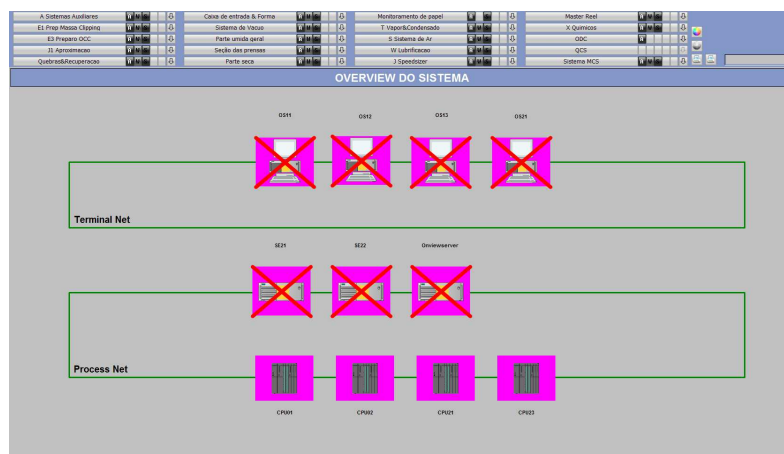
Figura 36 – Tela dos sistemas de rede



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 37 apresenta a tela de diagnóstico das redes Ethernet, onde o usuário pode identificar se o dispositivo está conectado à rede ethernet de forma operacional, nesta tela é possível verificar as condições das estações de operação, estação de engenharia, servidores e dos CLP's, caso o dispositivo apresente um "X" vermelho, significa que o dispositivo não é reconhecido na rede de comunicação, ou seja, não existe troca de dados com tal dispositivo.

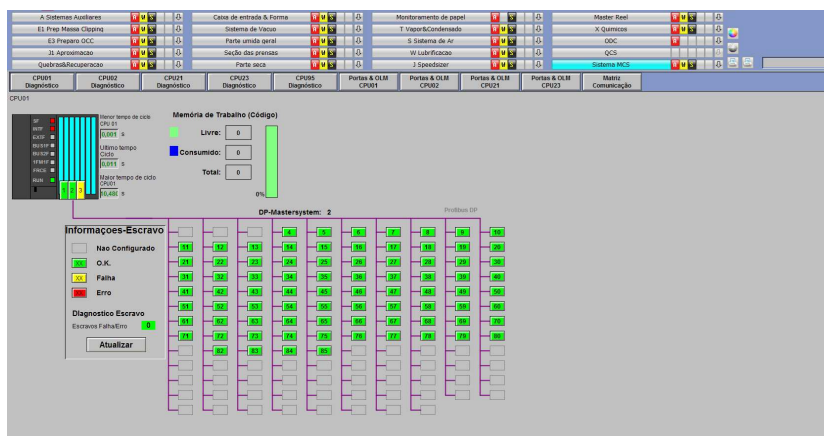
Figura 37 – Tela de diagnóstico da rede Ethernet



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 38 apresenta a tela de diagnóstico do CLP e da rede Profibus a ele conectado, desta forma o usuário pode verificar dados referente ao CLP, endereçamento dos dispositivos, e o status dos dispositivos na rede.

Figura 38 - Tela de diagnóstico do CLP e da rede Profibus



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

Estas informações de diagnósticos proporciona a rápida identificação da fonte geradora das anomalias nas redes de comunicação e conseqüentemente auxilia a resolução das mesmas.

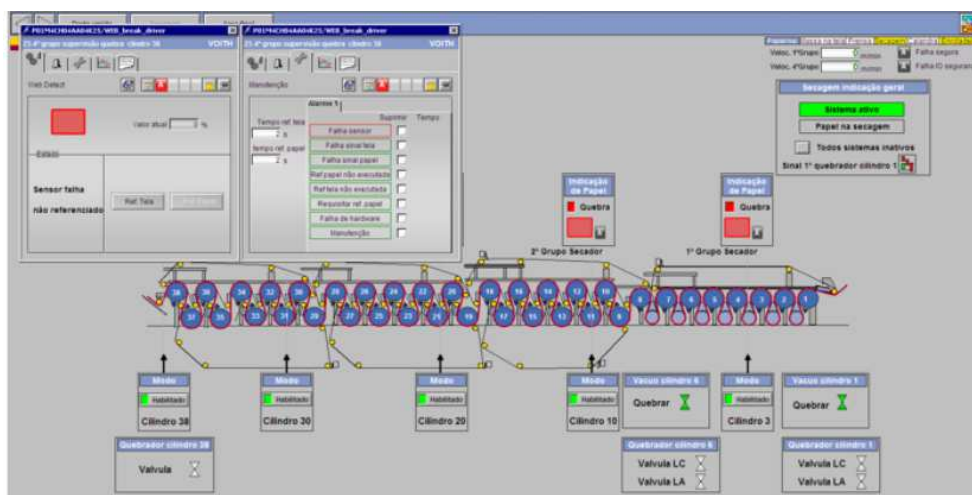
5.4.3 Controle de quebra de folha

Usando a solução de uma automação integrada, o sistema foi projetado e desenvolvido com tecnologia de uma única plataforma para todos os aplicativos de automação, desde os dispositivos de campo, abrangendo o sistema de controle até o sistema supervisório, e ainda disponibilizando os dados de chão de fábrica para o nível gerencial. Neste contexto, a integração possibilita a implementação de vários sistemas e entre eles podemos citar como exemplo, o sistema de detecção de quebra de folha.

A quebra de papel é o termo usado quando ocorre uma interrupção no processo de produção do papel em qualquer parte da máquina, parte úmida, secagem ou enrolamento devido a uma ruptura na folha já formada.

A figura 39 apresenta a tela de supervisão do sistema de quebra do supervisório, onde o operador pode habilitar e desabilitar sensores de quebra assim como observar seus *status*.

Figura 39 – Tela do sistema de quebra

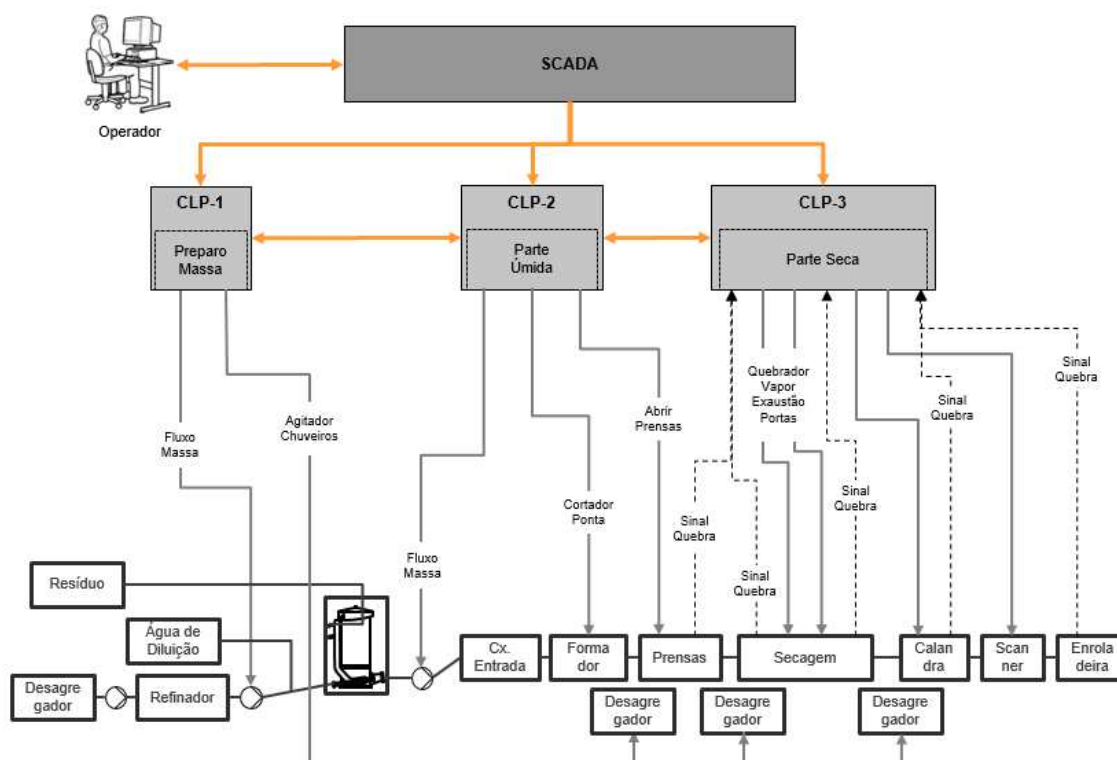


Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

Esse tipo de detecção é usado em pontos estratégicos da máquina, sensores são instalados com a finalidade de informar ao sistema supervisor a ocorrência da quebra da folha durante a produção. Após todos os sensores habilitados detectarem o papel, o sinal “Papel” é gerado, habilitando diversas funções auxiliares do processo. Caso algum dos sensores perca a referência mínima de papel, o sinal “Quebra de Papel” é gerado, desta forma, o controle identifica isso como sendo uma quebra de papel, e as seguintes funções são inicializadas automaticamente através da lógica de controle: Quebradores são acionados, promovendo a quebra da folha ao final das prensas, na seção da secagem e na enroladeira, executando a interrupção da folha para evitar o enrolamento indesejado nos cilindros; Ativação da lógica de funcionamento dos desagregadores debaixo da máquina, incluindo o comando para ligar o motor do agitador assim como os chuveiros para diluição; Alteração do valor de referência para diminuir o vapor e condensado, diminuir o ar insuflado e aumentar a exaustão interna da capota da secagem; Comando para abertura automática das portas da capota; Comando para abertura do scanner e o comando para posição de garagem; Comando para o movimento do cortador de folha para posição “ponta”; Comando para encostar os raspadores para passagem da ponta. E caso seja detectado a quebra na seção das prensas, ainda são inclusas as funções de; Comando para abrir as prensas, afastar o rolo pick-up e em casos extremos até cortar o envio da massa para máquina; Após executar estas funções a máquina está em condições de iniciar a passagem da ponta e continuar com a produção.

A figura 40 representa o diagrama de bloco do sistema de controle e supervisão de quebra de folha atuando de forma integrada, é possível observar no diagrama que as lógicas de controle estão programadas em diferentes controladores, porem interligados e se comunicando em rede entre si e com o supervisor. Outro fator de importante consideração é que o sistema executa as funções de modo automático, enquanto no sistema convencional muitas dessas operações são executadas por distintos operadores e de forma manual.

Figura 40 – Diagrama de blocos de quebra de folha



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

Este processo possibilitou uma redução no tempo de máquina parada, a redução do tempo de colocação em operação e ainda um diagnóstico da área onde a quebra ocorreu, isso permite uma análise aprofundada para identificar a causa da quebra.

5.4.4 Controle de gramatura

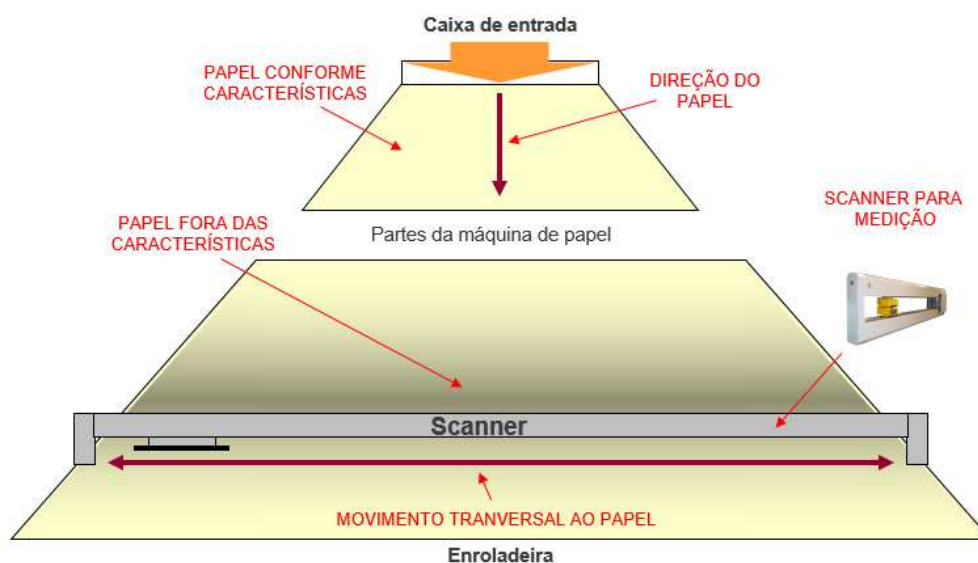
Uma das principais vantagens do sistema integrado é a possibilidade do controle da fabricação de papel como um todo na busca por processos econômicos, eficazes e eficientes, ou seja, produzir o melhor papel com o menor custo.

Conforme mencionado no capítulo 3, a gramatura, umidade e resíduos (cargas minerais ou cinza) são algumas das principais variáveis a serem controladas na fabricação de papel, pois estas têm grande influência nas propriedades, características mecânicas e ópticas do papel. Nos sistemas

convencionais, estas variáveis podem ser obtidas através de testes laboratoriais, por equipamentos e instrumentos específicos para este tipo de análise, porém nem sempre este processo é realizado online, ou seja, diretamente durante o processo de fabricação, e os valores de referência para correção das variáveis, são introduzidos de forma manual. Geralmente, somente um dos valores é corrigido automaticamente, mas como as variáveis influenciam de maneiras diferentes e correlacionadas o resultado final nem sempre é satisfatório.

Diante disso, para promover o controle destas variáveis, um algoritmo foi desenvolvido para receber as informações do chão de fábrica em tempo real, compará-las com a receita do produto, efetuar os cálculos e se necessário atuar nos elementos responsáveis em executar as correções no processo de fabricação.

Figura 41 – Estratégia de leitura do scanner



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

Para coletar as informações do chão de fábrica em tempo real, utilizamos o equipamento denominado de Scanner, instalado diretamente na linha de fabricação, localizado próximo a enroladeira, onde o processo de fabricação do papel está praticamente finalizado e a folha está pronta para ser enrolada em bobinas. Sua principal função é o monitoramento das variáveis de

gramatura, umidade e cinzas, adicionalmente também fornece ao sistema peso seco calculado e temperatura do papel. Através do seu movimento transversal ao papel as variáveis são lidas e enviadas ao sistema supervisor, a figura 41, demonstra a estratégia de leitura do scanner.

A figura 42 apresenta o exemplo de tela de controle longitudinal do papel (controle MD³⁶), onde o operador pode inserir os valores de referência de acordo com as características do papel desejado e também pode monitorar as variáveis em tempo real. Desta forma, se o controle MD estiver ativo, ao receber a informação de “Papel na Máquina” enviado pelo controle de quebra, o sistema calcula automaticamente os valores de referência para cada componente do processo.

Figura 42 - Tela de interface de controle longitudinal do papel



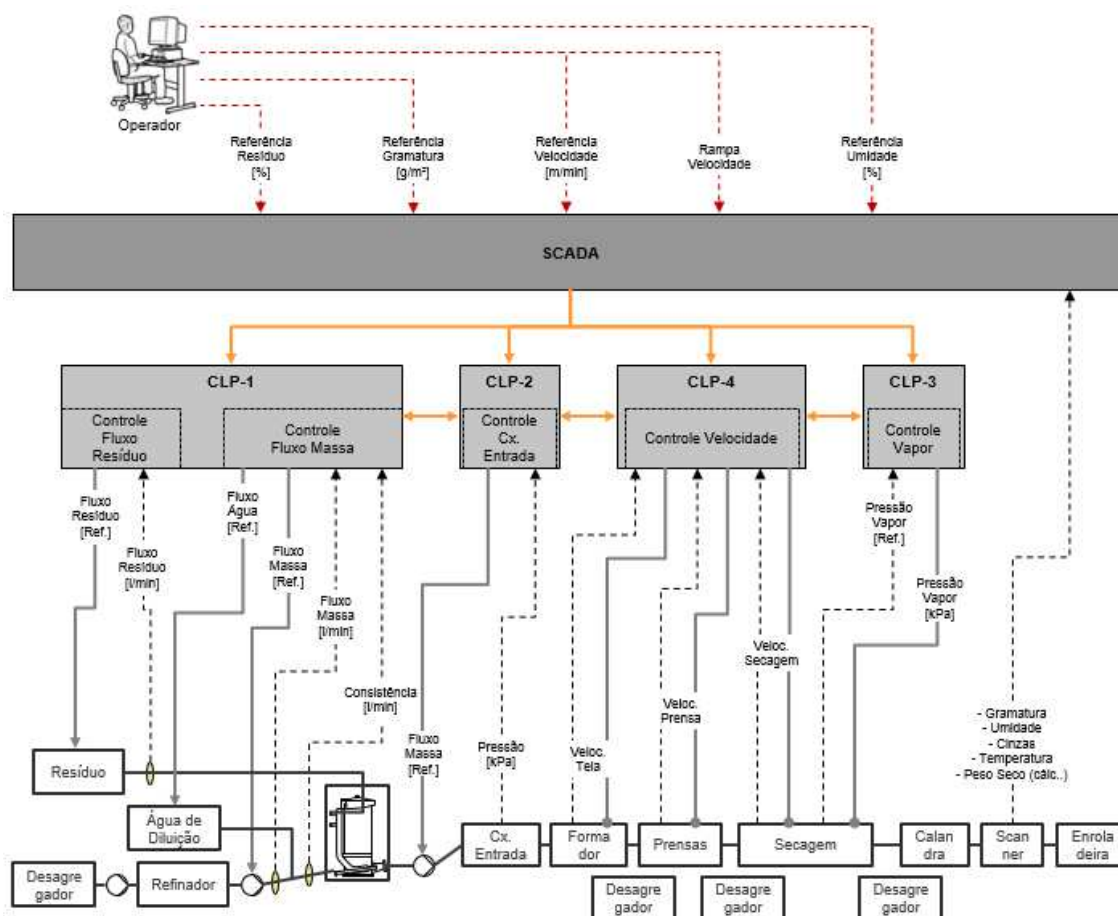
Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

A figura 43 representa o diagrama de blocos do controle longitudinal do papel, onde é possível observar que o sistema de controle e supervisão trabalha de forma integrada no processo de fabricação, desta maneira, todos controladores contribuem para uma tarefa em comum e cada qual atua em diferentes partes do processo. Entretanto, em fabricas que operam com sistemas convencionais este tipo de controle dificilmente é efetuado, pois

³⁶ Machine direction (Direção da Máquina)

muitas vezes os sistemas de automação não estão integrados, ficando assim, sobre a responsabilidade do operador em efetuar as devidas correções manualmente conforme descrito nos procedimentos da empresa.

Figura 43 – Diagrama de blocos de controle longitudinal do papel



Fonte: BETA, 2015 (adaptado pelo AUTOR)

O sistema de controle juntamente com o algoritmo tem como função manter as características do papel o mais próximo dos valores determinados na receita do produto, assim, se o sistema detectar que a gramatura está fora do valor de referência, o controle atua automaticamente no fluxo de massa para correção, entretanto, se o sistema detectar teor de cinzas fora das especificações, o controle atua de forma automática no fluxo de resíduos para as devidas correções e se o problema for à umidade, o controle atua também de forma automática na pressão de vapor, e se mesmo assim não conseguir

fazer as devidas correções na qualidade do papel, o sistema envia um aviso ao usuário através do sistema de alarme. Este controle também permite a correção automática no caso de mudança de velocidade da máquina, solicitando assim as alterações no fluxo de massa, no fluxo de resíduo e pressão de vapor. Além disso, cada componente da massa possui malha de controle específica com transmissor de fluxo e válvula de controle para a adequada dosagem em razão da proporção inserida na tela de receita do produto.

Por fim, este controle resulta em diversos benefícios como, redução no tempo de máquina parada, pois o processo se torna mais estável; redução do tempo de estabilidade do processo, proporcionando uma redução significativa em produtos descartados durante a produção; redução de refugo na transição de produto (alteração na gramatura); redução no consumo de aditivos químicos, vácuo na parte úmida e vapor na secagem; registro de dados em tempo real do processo; rastreamento e diagnóstico do produto e acompanhamento de todo.

6 CONCLUSÕES

Como resultado desta dissertação, é possível concluir que nos processos convencionais de fabricação de papel, onde a automação está estabelecida no chão de fábrica e restrita a malhas de controle trabalhando isoladamente, não detectamos qualquer tipo de integração entre as áreas do processo. A metodologia utilizada para operação está baseada na observação do operador, ou seja, o processo de operação necessita da interferência constante do operador, o qual é responsável por monitorar e controlar as variáveis do processo, intervindo de forma corretiva para adequá-las as características do produto a ser fabricado. Normalmente, o monitoramento e intervenção são feitas em painéis localizados em campo próximo da área ou equipamento em questão, este tipo de operação apresenta falta de visibilidade do processo, retardo na solução de problemas, dificuldade em manter a produção uniforme e a qualidade exigida, resultando em perdas de produção significativa para a indústria. Para tal operação, é necessário um elevado número de operadores para suprir toda extensão da fábrica, onde, o monitoramento e controle das operações tornam-se complexa e limitada. Observamos também os obstáculos relacionados ao registro de dados, pois sistema de automação convencional sem integração dificulta a atualização do banco de dados em tempo real, pois a coleta de dados é realizada manualmente provocando dúvidas na credibilidade do banco de dados. Enfim, conclui-se que o sistema convencional de automação, não possibilita uma operação conjunta de todo o processo, ficando na responsabilidade dos operadores de cada área a eficiência do processo de fabricação de papel.

Entretanto, no processo de fabricação de papel com o sistema de automação integrado em uma única plataforma para todos os aplicativos, constatou-se que a associação de componente e redes de comunicação, atingiu a integração desejada, pois os sistemas contribuíram para tarefas e resultados comum, proporcionando a coordenação de tarefas de maneira integral. Tal fato vem ao encontro com o apresentado na seção 5.4.3 no controle de quebra da folha, foi possível implementar um processo de monitoramento e controle automático, envolvendo diversos equipamentos em

diferentes áreas do processo, reduzindo o tempo de máquina parada, o retorno a produção e o diagnóstico da área onde ocorreu a quebra da folha, permitindo uma análise aprofundada da causa da quebra. Outro fato que comprova tal integração está na seção 5.4.4 no controle de gramatura, onde foi possível programar um algoritmo de controle através do monitoramento das variáveis de gramatura, umidade e cinza do papel, resultando em diversos benefícios conforme já demonstrado.

Em relação à coordenação e o gerenciamento do processo produtivo a partir da sala de operação, observou-se que, as interfaces de operação desenvolvidas no supervisório SCADA, proporcionaram uma visão geral do processo de fabricação de papel, desde o início do processo, com a entrada da celulose no desagregador, até o final, com o enrolamento folha de papel acabada em bobinas. Vale ressaltar que as telas de operação proporcionam ao operador o monitoramento e controle de todo o processo produtivo de uma única sala de operação, sem a necessidade de se deslocar para a área do processo. Em paralelo as telas de operação, também foram configuradas as telas de tendências, telas de alarme, telas de diagnóstico e outras, possibilitando a análise do processo, o auxílio na solução de anomalias e diagnóstico de intertravamentos.

Em suma, com base no exposto nesta dissertação, é possível concluir que a integração do sistema de automação proporciona diversas vantagens ao sistema produtivo como:

- Informação em tempo real de todo o processo na sala de operação;
- Interface de operação amigável através das telas do supervisório;
- Redução de tempo na solução de problemas através das telas de diagnósticos;
- Banco de dados e históricos confiáveis;
- Execução de funções automáticas independente das divisões de áreas;
- Controle e monitoramento de todo o processo na sala de operação;
- Controle da qualidade do papel, garantindo as características do produto final.

REFERÊNCIAS

AKESSON, J.; SLATTEKE, O. Modeling, Calibration and Control of a Paper Machine Dryer Section. In: 5th International Modelica Conference - September 4th - 5th, 2006, Vienna. **Anais...** Vienna: Modelica Association, 2006.

ANDRADE, A. A. de; BURIAN, R. **Sistemas supervisórios**. São Paulo: PECE, 2008. Apostila para curso de pós graduação - MBA Automação Industrial, Módulo IV, 2008.

BARBOSA, M. A. **Análise do sistema da qualidade total em uma indústria de celulose e papel**. 2004. Dissertação (Mestrado) - ECA da Universidade de Taubaté, Taubaté, 2004.

BIERMANN, C. J. **Handbook of pulping and papermaking**. Second ed. San Diego, California: Academic Press, 1996.

BURIAN, R.; YAMAGUCHI, M. Y. **Sistemas de manufatura evolução através do cim e mes**. São Paulo: PECE, 2008. Apostila para curso de pós graduação - MBA Automação Industrial, Módulo IX, 2008.

CABÚS, J. R.; NAVARRETE, D. G.; PORRAS., R. P. **Sistemas scada. miniproyecto automatización industrial**. 2004. Especialidad en Electrónica Industrial - Escola Politècnica Superior d' Enginyeria de Vilanova i La Geltrú, Barcelona, 2004.

COMMISSION, E. **Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry**, , 2001. .

CONSTAIN, N. B. P. **Integração de sistemas scada com a implementação de controle supervisorio em clp para sistemas de manufatura**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FAUSTINO, M. R. **Norma iec61131-3: aspectos históricos, técnicos e um exemplo de aplicação**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

FRIAS, A. R. **Gestão de malha de controle no processo de fabricação de papel - estudo de caso**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

GOMES, R. Z. **Gestão da automação e a utilização de rede interbus em um estudo de caso**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'Oeste, 2003.

GROOVER, M. P. **Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing**. 2^a. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2001.

HAMAGUCHI, M. **Análise do circuito de água em processo de fabricação de papel imprensa integrada com produção de pastas termomecânicas**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São, 2007.

HENTINEN, K. **Modelling the dewatering in the forming section of a paper machine**. 2010. Master's Thesis - University of Eastern Finland, Kuopio, 2010.

HUNTER, D. **Papermaking: the history and technique of an ancient craft**: Second ed. New York: Dover Publications, INC., 1978.

Invention of Paper. Disponível em:

<http://www.ipst.gatech.edu/amp/collection/museum_invention_paper.htm>. Acesso em: 28 set. 2014.

JUDASZ, A. **Estimation of impact of alternative papermaking additives on paper web dewatering intensity and paper properties.** 2009. Master's Thesis - Faculty of Chemistry Technical University, Lodz, 2009.

JÚNIOR, V. L. **Análise dinâmica de prensa de máquina de papel.** 1993. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

KEMPENICH, S. **Práticas de produção enxuta no contexto da construção e manutenção de redes de distribuição de utilidades.** 2009. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

LEACH, B. **Papyrus manufacture.** 2009. 1 UCLA Encyclopedia of Egyptology, London, 2009. Disponível em: <<http://escholarship.org/uc/item/5n53q5fc>>.

LIMA, W.; TRINDADE, M.; SILVA, S.; PIRES, W. Controle de consistência de polpa de papel, uma solução computacional para diminuição do desperdício. **Revista Engenharia Elétrica**, n. 2, maio 2014.

LINDSTRÖM, S. **Modelling and simulation of paper structure development.** 2008. Master's Doctor - Mid Sweden University, Sundsvall, 2008.

LOPES, Y. K. **Integração dos níveis mes, scada e controle da planta de manufatura com base na teoria de linguagens e autômatos.** 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2012.

MATSUBARA, R. Y. **Redução de custos através do manufacturing execution system (mes) e sua integração com o enterprise resource planning (erp).** 2014. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MENDES, A. H. T. **Higroexpansibilidade de papel reprográfico produzido com fibras de eucalipto em máquina industrial.** 2006. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MESA INTERNATIONAL. **MES Explainid: A HighLevel Vision**, 1997. .

MOHAMED, A. K. **Automation and computer integrated manufacturing in food processing industry: an appraisal.** 2003. Master's Thesis - Dublin City University. School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Dublin, 2003.

MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. de L. **Engenharia de automação industrial.** 2. ed. Rio de Janeiro: LCT - Livros Técnicos e Científicos, 2007.

MORAES, C. C. de; PESCIO, P. H. Otimização do controle de velocidade em bomba de mistura na caixa de entrada para processo de fabricação de papel. In: 2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications - INDUSCON 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IEEE, 2010.

NUNES, D. C. L. **Conservação de água em máquina de fabricação de papel. o caso da bahia sul papel e celulose s.a.** 2007. Dissertação (Mestreado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno.** 3ª. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros

Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000.

PASSOS, L. F. D. **Metodologia para auditoria e validação ampla de malhas de controle: estudo de caso para uma caldeira industrial**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

PESCIO, P. H. **Estudo do controle de velocidade da bomba de mistura para manter a relação jato/tela constante no processo de fabricação de papel**. 2009. Monografia (MBA em Automação Industrial) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PESSOA, M. A. D. O. **Arquitetura de sistema de planejamento e controle da produção no contexto de empresa virtual**. 2015. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel - volume ii - tecnologia de fabricação de papel**. 2. ed. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo - Centro Técnico em Celulose e Papel, 1988a.

PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel - volume i - tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo - Centro Técnico em Celulose e Papel, 1988b.

PINTO, S. da S. **Qualificação do trabalho dos operadores de equipamentos automatizados em uma empresa sucroalcooleira paulista**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

PIRES, P. S. M.; OLIVEIRA, L. A. H. G. de; BARROS, D. N. ASPECTOS DE SEGURANÇA EM SISTEMAS SCADA UMA VISÃO GERAL. In: ISA São Paulo | International Society of Automation, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ISA Show, 2004.

ROBUSTI, C.; VIANA, E. F.; JÚNIOR, F. F.; GOMES, I.; TOGNETTA, L.; SANTOS, O. dos; DRAGONI, P. **Papel**. 1. ed. São Paulo: SENAI-SP, 2014.

ROCHA, C.; ARMANI, E.; PIIRAINEN, E. Controle de refinação de celulose com medição contínua do freeness. **Revista O Papel**, n. 6, p. 79–93, jul. 2006.

SÉKULA, P. R. **Uso de modelo de referência para melhoria do processo de fabricação de papel kraft**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

SILVA, D. D. J. **Química da parte úmida em processo de fabricação de papel - interações em interfaces sólido-líquido**. 2010a. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SILVA, E. B. da. **Metodologia para planejamento da convergência da tecnologia da informação (it) & tecnologia da automação (ta) em processos industriais**. 2013. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SILVA, G. S. da. **Controle de ph em máquina de produção de cartão multicamada**. 2010b. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TOLEDO, J. C. de; FERRO, J. R.; TRUZZI, O. M. S. Indústrias de processo contínuo: novos rumos para a organização do trabalho. **Revista de Administração de Empresas**, v. 26, n. 1, p. 103–105, mar. 1986.

ZÜGE, C. T. Y. **Alinhamento do planejamento estratégico com o plano diretor da**

automação industrial em pró do desenvolvimento sustentável. 2014. Tese
(Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.