

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM INDÚSTRIA 4.0**

JULIMAR JUNIOR BONICENHA

**CONTROLE AVANÇADO DE DEMANDA IÔNICA EM MÁQUINA DE
PAPEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

**PONTA GROSSA
2020**

JULIMAR JUNIOR BONICENHA

**CONTROLE AVANÇADO DE DEMANDA IÔNICA EM MÁQUINA DE
PAPEL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Indústria 4.0, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

PONTA GROSSA

2020



**ESPAÇO DESTINADO A INCLUSÃO DA FOLHA DE APROVAÇÃO -
FORNECIDA PELA SECRETARIA DO CURSO APÓS A DEFESA**

TERMO DE APROVAÇÃO DE TCCE

Controle Avançado de Demanda Lônica em Máquina de Papel

Julimar Junior Bonicenha

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (TCCE) foi apresentado em oito de fevereiro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Indústria 4.0. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

Prof. Orientador

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho

Membro titular

Prof. Max Mauro Dias Santos

Membro titular

A FOLHA DE APROVAÇÃO ENCONTRA-SE ASSINADA NA SECRETARIA DO CURSO

RESUMO

BONICENHA, Julimar Junior. **Controle avançado de demanda iônica em máquina de papel**. 2020. Monografia (Especialização em Engenharia de Indústria 4.0) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2020.

As tecnologias de controle de processo já estão presentes na indústria há vários anos, porém, cada dia mais fica evidente que investir nestes sistemas é o caminho a seguir em busca da otimização e simplificação dos processos. As tendências da Indústria 4.0 confirmam este caminho e dão novas perspectivas para estas tecnologias, o que reforça o sentido deste projeto. O trabalho teve por objetivo estabilizar a Demanda Iônica (carga química) de uma máquina de papel com foco em aumentar a performance deste processo e reduzir custos relacionados aos químicos de processo e performance. Para isto foram usadas diversas tecnologias existentes como modelagem de processo, sensorização virtual, controle avançado de processos e equipamentos de medição de última geração aliados à experiência de profissionais do setor altamente capacitados. Este conjunto de tecnologias podem ser definidas também como Cyber-Physical Systems. Foi possível observar todos os benefícios esperados com a implantação deste projeto, principalmente a estabilização da demanda que pode ser observada em 30%. Por entender como um sucesso a implantação do sistema recomenda-se a expansão destas tecnologias para todo o processo produtivo, claro que a partir de uma análise de viabilidade do sistema.

Palavras-chave: Demanda Iônica. Carga Química. Controle de Processos. Controle Avançado. Indústria 4.0.

ABSTRACT

BONICENHA, Julimar Junior. **Advanced paper machine ionic demand control.** 2020. Monograph (Specialization in Industry 4.0) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2020.

Process control technologies have been present in the industry for several years, but it is becoming increasingly evident that investing in these systems is the way forward for process optimization and simplification. Industry 4.0 trends confirm this path and give new perspectives to these technologies, which reinforces the meaning of this project. The work aimed to stabilize the Ionic Demand (chemical charge) of a paper machine focused on increasing the performance of this process and reducing costs related to process chemicals and performance. Several existing technologies such as process modeling, virtual sensing, advanced process control and state-of-the-art measuring equipment were combined with the expertise of highly skilled industry professionals. This set of technologies can also be defined as Cyber-Physical Systems. It was possible to observe all the expected benefits with the implementation of this project, mainly the demand stabilization that can be observed in 30%. Understanding how successful the deployment of the system is recommended to expand these technologies to the entire production process, of course from a system feasibility analysis.

Keywords: Ionic Demand. Chemical Charge. Process Control. Advanced Control. Industry 4.0.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 MÁQUINA DE PAPEL.....	14
2.2 QUÍMICA NA PRODUÇÃO DE PAPEL.....	15
2.3 CONTROLE AVANÇADO	16
2.4 SISTEMA DE MEDIÇÃO.....	18
3 METODOLOGIA.....	20
5 RESULTADOS	22
6 CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

O papel foi inventado na China no século 2 e desde então vem sendo aperfeiçoado e suas aplicações se expandindo cada dia mais. As fibras extraídas da madeira como conhecidas nos dias atuais só começaram a ser exploradas a partir de 1850 após uma ideia do francês René Antoine de Reaumur e invenção do alemão Friedrich Keller, o inglês Hugh Burgess e o americano Benjamin Tilghman (SUPER INTERESSANTE).

Atualmente 400 milhões de toneladas métricas de papel são produzidas e consumidas globalmente a cada ano. Este mercado vem se transformando em conjunto com a tecnologia. Enquanto as novas plataformas digitais reduzem o papel de escrever elas também aumentam as compras pela internet e os papéis para embalagem conseqüentemente seguem este crescimento. A indústria brasileira hoje é responsável pela sexta maior produção de papel do mundo correspondendo 10.357 milhões de toneladas métricas de papel (CELULOSE ONLINE). Diante deste cenário vê-se a importância destes produtos para o mercado, e desenvolvê-los é trabalho árduo dos produtores de papel. Os produtos químicos cada dia mais tem ajudado na operação das máquinas e na qualidade do produto, porém fazer com que todas as reações se mantenham controladas e estáveis não é tarefa fácil para os papeleiros.

O artigo apresentado detalha uma tecnologia de controle avançado de processos que tem por objetivo estabilizar a demanda iônica em uma máquina de papel, ou seja toda a carga química deste processo deve ser mantida em um valor objetivo, sendo assim o controlador será responsável por eliminar/amenizar as variações químicas da polpa celulósica através da manipulação de produtos químicos reagentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

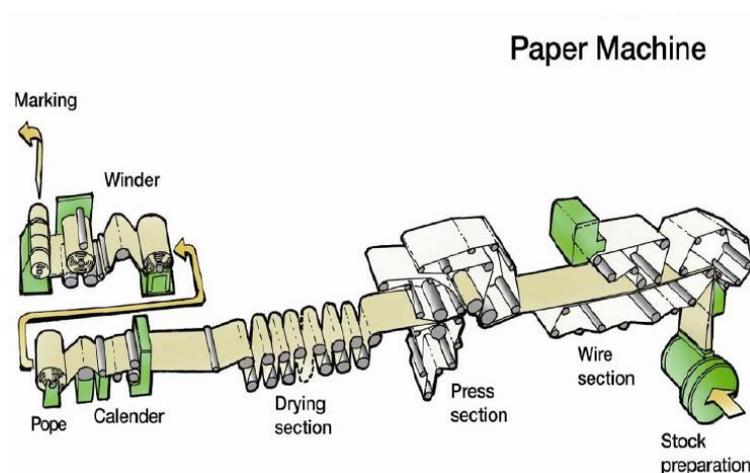
Este capítulo tem por objetivo apresentar os principais conteúdos envolvidos neste projeto de forma a contextualizar o leitor.

2.1 MÁQUINA DE PAPEL

O princípio da fabricação do papel é a tendência das fibras celulósicas se unirem e assim permanecerem após secas. Essa é a função básica de uma máquina de papel, porém esta pode ser totalmente diferente uma da outra conforme as necessidades do produto a ser produzido.

A Figura 1 a seguir ilustra todos os processos de uma máquina de papel. Este processo começa com a deposição das fibras celulósicas em telas formadoras e a partir daí inicia-se a formação do papel com a extração de água, desde a forma mais barata que é através da gravidade, passando por extração via vácuo, prensagem mecânica e por último um longo espaço de secagem via vapor contidos em cilindros secadores.

Figura 1 – Máquina de Papel



Fonte: Valmet (2019)

O foco do projeto foi na parte de preparo de massa, que é a área responsável pela adequação da polpa, seja por equipamentos de ação mecânica ou por adição de produtos químicos visando melhoria de performance.

2.2 QUÍMICA NA PRODUÇÃO DE PAPEL

A química de uma máquina de papel pode ser definida como um princípio de interação entre superfícies em um meio de dispersão composto de fibras celulósicas, água e aditivos químicos.

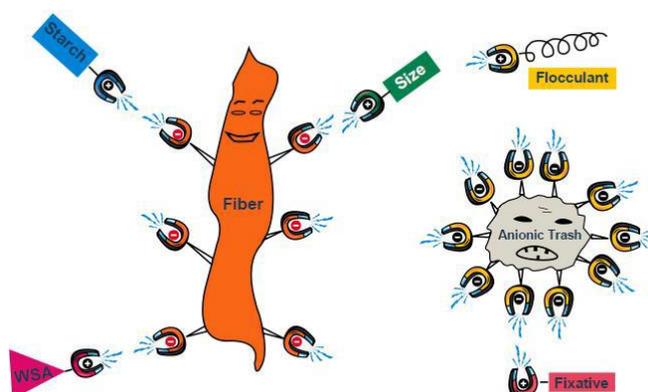
Os aditivos químicos utilizados podem ser definidos em duas categorias:

- **Aditivos de processo:** São substâncias que facilitam a operação do processo de fabricação;
- **Aditivos de performance:** Consistem em substâncias que afetam as propriedades do papel.

Para entender como os aditivos estão respondendo ao processo alguns parâmetros de controle devem ser observados, sendo eles a Condutividade, Demanda iônica, Zeta Potencial, Turbidez, pH e Temperatura. Este projeto é focado na demanda iônica, também chamada de carga química. Esta medida representa a quantidade de grupos negativos ou positivos que estão presentes na superfície das fibras, finos e partículas coloidais da suspensão. Ela indica quanto de aditivo catiônico/aniônico é necessário dosar para neutralizar a carga da suspensão, ou seja, representa a quantidade de lixo aniônico e indica a eficiência de lavagem da polpa.

O lixo aniônico ilustrado na Figura 2 impacta negativamente na coagulação, controle de depósitos, retenção e eficiência de colagem.

Figura 2 – Carga Química nas Fibras

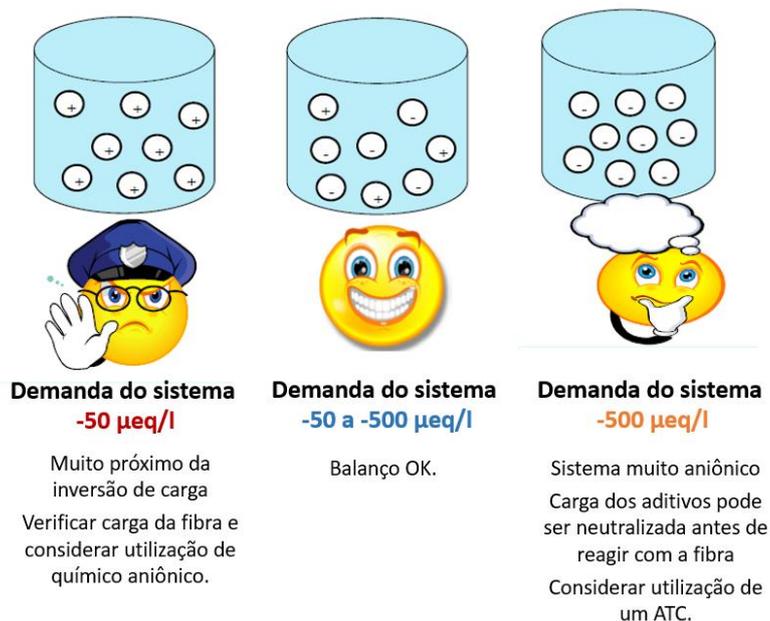


Fonte: Treinamento Interno (2019)

A figura a Figura 3 mostra os níveis extremos de demanda e faixa ideal de controle. Mesmo com a demanda dentro da faixa adequada ela ainda pode causar problemas no processo, como incrustações e mudanças de performance da máquina

de papel. Por isso torna-se fundamental manter esta variável em uma referência adequada de forma que fique o mais estável possível e que os químicos de controle não oscilem significativamente.

Figura 3 – Faixa de Demanda Iônica



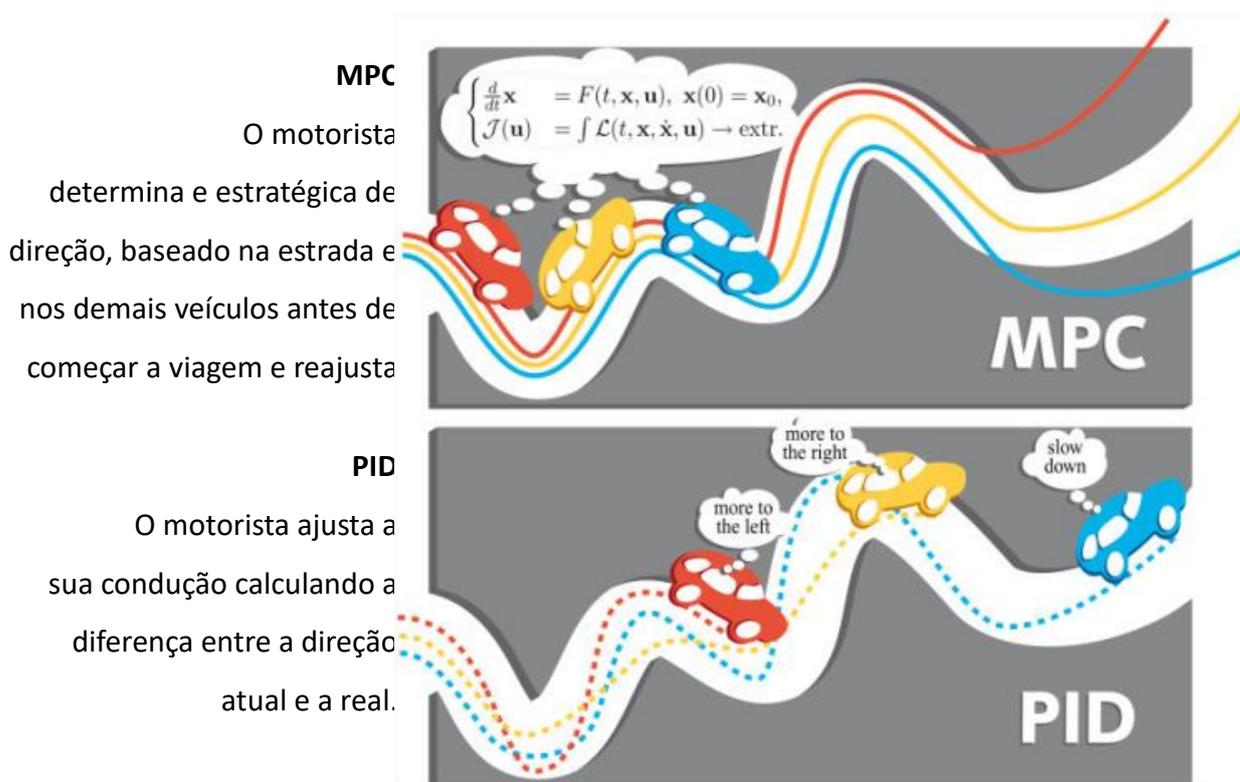
Fonte: Autoria Própria

2.3 CONTROLE AVANÇADO

O controle avançado pode ser definido de forma simplória como toda técnica de controle de processo que não se enquadre no tradicional controle básico, que hoje majoritariamente é feito através do uso dos PIDs.

Existem várias tecnologias diferentes de controle avançado atualmente. Neste trabalho foi utilizada a tecnologia MPC (Model Predictive Control) que é a mais difundida em dias atuais entre em indústrias de processo contínuo. Como o próprio nome já diz o controle atua de forma preditiva pois baseia-se em um modelo de processo (ENE). A Figura 4 ilustra a diferença de operação entre um controle MPC e um PID.

Figura 4 – Estratégias de Controle



Fonte: Medium (2019)

A tecnologia utilizada é capaz de trabalhar com problemas multivariáveis, ou seja, tem-se modelos para diversas variáveis rodando ao mesmo tempo independente se há correlação entre eles ou não. Estes modelos são organizados de forma matricial conforme ilustrado na Figura 5. As variáveis utilizadas dentro do controle avançado podem ser definidas em três grupos, sendo eles:

- CVs: Variáveis Controladas que podem ser compreendidas como o objetivo do desenvolvimento do controlador, neste caso a demanda iônica é uma variável controlada;
- MVs: Variáveis Manipuladas são aquelas que são alteradas no processo para atender as expectativas das variáveis controladas. Neste projeto trata-se de produtos químicos;
- DVs: Variáveis de Distúrbio são as indicações de processo que influenciam no desempenho do controlador, mas não podem ser controladas por algum motivo, porém precisam ser monitoradas.

Figura 5 – Matriz de Controle

MV / DV CV	01 Reflux rate	02 Reboil rate	03 Stripper Steam	04 Gas Flow rate	01 Feed Rate
01 Overhead Quality					
02 Bottoms Quality					
03 Pressure					
04 Bottoms Flow					

Fonte: Control Eng (2019)

2.4 SISTEMA DE MEDIÇÃO

A medição de demanda é efetuada através de uma titulação num recipiente onde para além de ser colocada a amostra é também colocado um corante, como por exemplo o azul de toluidina. Ao ser adicionado o polímero titulante, este vai ligar-se preferencialmente às partículas carregadas, só quando toda a matéria coloidal carregada já se ligou ao polímero é que este se liga ao corante, fazendo com que a solução passe da cor azul para a cor rosa. A mudança de cor permite identificar quando a solução já está neutralizada. Este método tem como principais vantagens a facilidade de medição e rapidez do teste.

Visando a otimização do processo foi implantado um analisador em campo conforme mostrado pela Figura 6 que é capaz de realizar esta titulação de forma automática periodicamente.

Figura 6 – Equipamento de Medição de Demanda

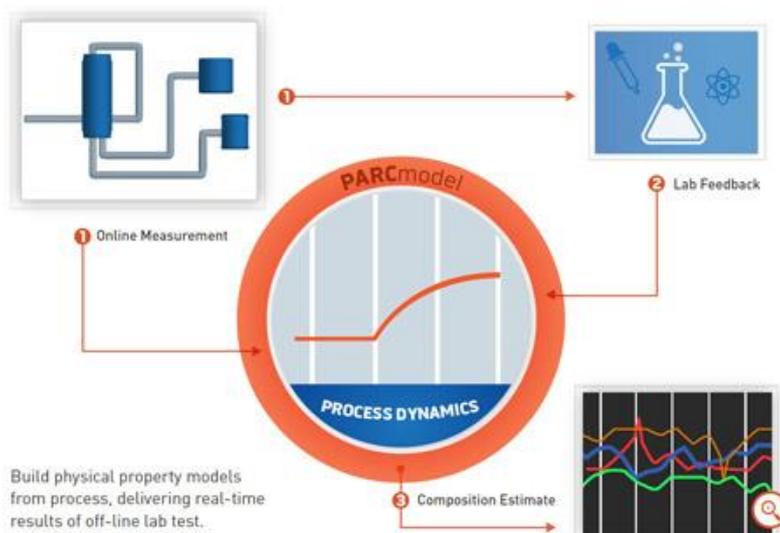


Fonte: Valmet (2019)

Como o equipamento de medição trabalha de forma amostral não há um valor *on-line*, sendo assim este equipamento pode ser classificado com *in-line*. Por esta característica há uma medição em cada ponto a cada 25 minutos em média.

Considerando que o controle implementado precisa atuar em todos os momentos para estabilizar o processo foi desenvolvido um sensor virtual que é capaz de prever a medição de demanda nos momentos de intervalo do analisador. Um sensor virtual funciona conforme a Figura 7, ele infere o valor da medição a partir de outras variáveis de processo e como esta inferência não é 100% precisa o sistema ajusta o modelo a cada medição feita pelo equipamento analisador instalado em campo.

Figura 7 – Modelo de Sensor Virtual



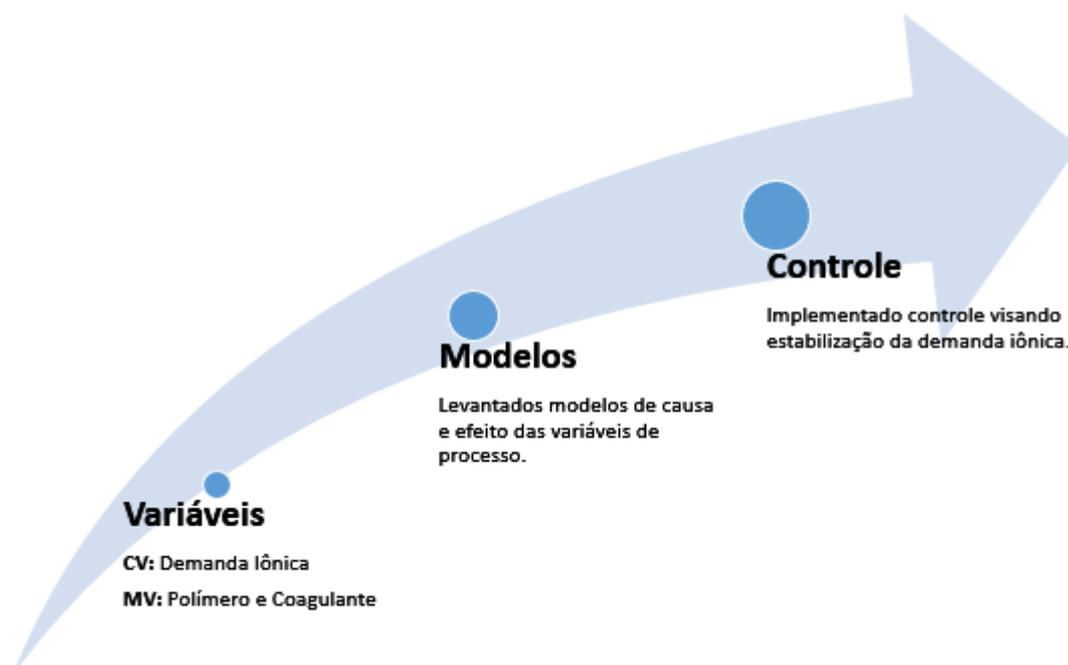
Fonte: MACS Controls (2019)

3 METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido em uma máquina de papel com o foco em controle e estabilização da demanda iônica através da dosagem de um coagulante e um polímero catiônico.

Para que este projeto tivesse seu sucesso alcançado foi necessário garantir que a medição funcionasse corretamente e que as equipes de engenharia de processos e controle de processos trabalhassem em conjunto focando todos os esforços na utilização da tecnologia APC empregada. A Figura 8 mostra a sequência para a criação e modelagem do controlador avançado:

Figura 8 – Etapas de Desenvolvimento do Controlador

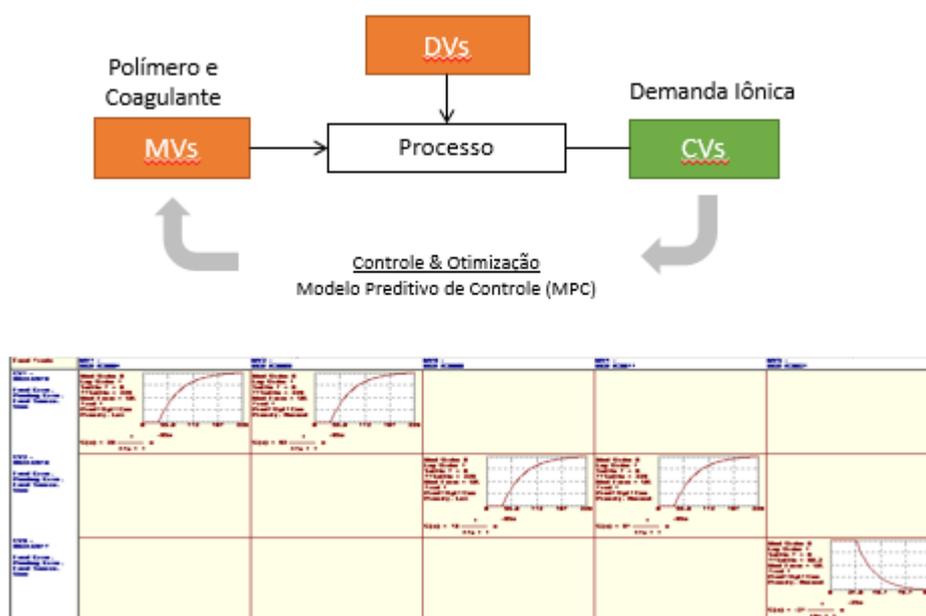


Fonte: Autoria Própria

A primeira etapa é fundamental, visto que nela são definidas as variáveis e traçada a estratégia do controlador, para este tipo de sistema é imprescindível que o APC seja capaz de entender por completo o processo, porém, inserir variáveis demais pode causar mais ruído do que performance do sistema. Feito esta etapa, passa-se para a modelagem do sistema, para isso são realizados testes no processo e os modelos são extraídos. Estes por sua vez são o coração do controlador, por isso devem representar fielmente o processo. Por isso dá-se início aos testes e sintonia do controlador. Nesta etapa é fundamental entender a estratégia de negócio buscada, e em seguir transferi-la para o sistema de controle.

Na sequência é mostrado pela Figura 9 a estrutura de funcionamento do sistema de controle. Como o sistema de medição trabalha com amostragem não se tem a indicação de demanda on-line e sim in-line, neste caso cada medição demora em torno de 25 minutos para se repetir. Pode-se entender como um problema esta frequência de medição, pois neste intervalo o controlador fica sem referência. Para resolver esta questão foi criado um sensor virtual capaz de prever a demanda iônica e toda vez que sai uma nova medição este sensor recalibrado.

Figura 9 – Diagrama de Controle



Fonte: Autoria Própria

5 RESULTADOS

A implantação deste projeto trouxe diversos benefícios para o processo, tanto do ponto de vista econômico como o de performance. Segue abaixo todos os benefícios medidos após a implantação do sistema:

- Estabilização da Demanda Iônica em 30%;
- Melhoria da janela operacional;
- Redução de desclassificações do produto;
- Redução de custos com dosagem de produtos químicos com impacto direto no custo de produção.

6 CONCLUSÃO

Os resultados do projeto deixam claro que investir em tecnologias de controle é um caminho para estabilização e simplificação dos processos, redução de custos e melhoria de qualidade. Após a conclusão deste projeto entende-se que o trabalho em equipe foi fundamental para se alcançar estes grandes benefícios, uma vez que profissionais especialistas no processo conseguem traduzir suas dores de um forma muito única, isso faz com que os profissionais de otimização sejam capazes de desenvolver sistemas de controle mais representativos para o processo, em termos atuais quanto mais preciso for o digital twin melhor será o desempenho do processo e dos controladores avançados que tem por papel guiá-lo.

O treinamento adequado da equipe de operação deste sistema é peça fundamental para que ele funcione continuamente proporcionando o melhor resultado ao processo. Recomenda-se integrar a este sistema mais partes/medições químicas do processo, visando maior controle das reações e maior estabilidade.

REFERÊNCIAS

CELULOSE ONLINE. **Top 10 maiores países produtores de papel do mundo.**

Disponível em: < <https://www.celuloseonline.com.br/top-10-maiores-paises-produtores-de-papel-do-mundo/>> Acesso em: 09 out. 2019.

ENE, C. **Benefits from Advanced Process Control.** Honeywell Advanced Solutions.

MARQUES, T. R. **Análise de demanda iônica de um processo papreiro – influência de variáveis de processo.** Coimbra – PT, Dissertação (Mestrado) – Universidade de Coimbra

SAPPI IDEA EXCHANGE. **The Paper Making Process. Brussels**

SUPER INTERESSANTE, REDAÇÃO MUNDO ESTRANHO. **Como é feito o papel?**

Disponível em: < <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-e-feito-o-papel/>> Acesso em: 09 out. 2019.