



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS NO REPROJETO DE UMA MÁQUINA OBTURADORA DE PAPÉIS

Waldemar Lins de Medeiros Neto, wlmneto@hotmail.com¹

Bruno Rafael Lino Mota, bruno_lino@ig.com.br¹

Armando Sá Ribeiro Júnior, asrj@ufba.br¹

¹Departamento de construção e estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Rua Aristide Novis, nº 2, Federação, Salvador, Bahia. CEP: 40210-630.

Resumo: *Este trabalho consiste no desenvolvimento do reprojeto de uma máquina obturadora de papéis, equipamento utilizado na recuperação de livros antigos e raros, empregando ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos como matriz QFD, síntese funcional e matriz morfológica, além de sistemas computacionais como CAD e CAE. O objetivo foi desenvolver um projeto otimizado de uma máquina obturadora de papéis, no que diz respeito a custo, operação, montagem e manutenção. Serão apresentados os resultados obtidos em todas as etapas realizadas em cada fase do projeto: projeto informacional, projeto conceitual e projeto preliminar. Ao final, foi obtido o projeto preliminar da máquina, com todos os seus sistemas descritos e modelados, componentes dimensionados, materiais selecionados e equipamentos especificados. Os resultados demonstraram que a avaliação do equipamento original, utilizando as ferramentas supracitadas, permitiu identificar alguns aspectos associados às suas deficiências, o que foi fundamental para definir uma concepção que considerasse as necessidades dos clientes.*

Palavras-Chave: *Desenvolvimento de produto; Máquina obturadora de papeis.*

1. INTRODUÇÃO

No ambiente de alta competitividade atual, os produtos de uma empresa têm função primordial para o alcance do sucesso e a garantia de sobrevivência das empresas. Estes produtos devem atender aos requisitos de qualidade, custo e tempo, e precisam ser desenvolvidos no menor tempo possível e lançados no momento certo, para que obtenham êxito nas vendas e gerem lucro para as empresas.

Com o alto nível de complexidade dos produtos atuais e a necessidade crescente de produtos de alta qualidade e baixo custo, não faz sentido falar em projetista, de uma forma isolada, mas sim em equipes multidisciplinares de desenvolvimento de produto. Com isso, faz-se necessário também a adoção de metodologias sistematizadas e o uso de ferramentas que permitam realizar o projeto da forma mais rápida e eficiente possível, atingindo o objetivo final, que é o lançamento de um produto competitivo no mercado. As práticas e ferramentas utilizadas por estas equipes também devem ser constantemente aprimoradas, considerando, inclusive, a diversidade de produtos apresentados. Dessa forma, o processo de criação e as equipes de desenvolvimento de produtos vêm tomando uma importância cada vez maior para o sucesso das empresas. Assim, o estudo e aplicação de práticas de desenvolvimento de produtos são fundamentais para aprimorar cada vez mais o processo de criação.

Neste sentido, foi desenvolvido um trabalho através do uso de ferramentas e sistemática de desenvolvimento de produto, objetivando o reprojeto de uma máquina obturadora de papéis. Esse equipamento é responsável pela execução do processo de reenfibragem de papel, que consiste em uma das etapas da restauração de livros e documentos antigos que sofreram degradação. O objetivo do processo de reenfibragem, realizado na máquina obturadora de papéis, é fortalecer o suporte da folha pela adição de polpa celulósica à sua estrutura.

O presente trabalho tem como objetivo contribuir com novas tecnologias na área de restauração de documentos com o desenvolvimento de um equipamento mais produtivo e com melhorias relativas a custo, operação, montagem e manutenção, quando comparadas com as tecnologias atuais, bem como apresentar resultados da avaliação do uso da metodologia de desenvolvimento integrado de produtos para o caso estudado.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho para fazer o reprojeto de uma máquina obturadora de papéis foi a do modelo de fases, preconizado por Pahl & Beitz (2007), que consiste numa sistemática em que um modelo mais detalhado e concreto substitui outro mais simples e abstrato. Esse modelo pode ser dividido em quatro fases principais: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

Nesse trabalho foi desenvolvido o projeto preliminar da máquina obturadora de papéis mediante a execução das seguintes etapas de trabalho:

- Projeto informacional: entendimento do problema, estudo sobre o tema, pesquisa de mercado (clientes, fornecedores e concorrentes), prospecção de patentes relacionadas ao tema, levantamento das necessidades do cliente, definição dos requisitos de projeto, aplicação da matriz QFD.
- Projeto conceitual: desenvolvimento da síntese funcional, levantamento de soluções utilizando a matriz morfológica, modelagem tridimensional das concepções, análise das soluções (definição da concepção).
- Projeto preliminar: seleção de materiais, dimensionamento dos componentes, especificação de equipamentos.

3. REPROJETO DA MÁQUINA OBTURADORA DE PAPÉIS

3.1 Projeto informacional

A primeira etapa no processo de desenvolvimento da máquina obturadora de papéis foi o entendimento do problema a ser solucionado. O Laboratório de Restauração de São Bento, entidade que trabalha com a restauração de livros antigos, possui uma máquina obturadora de papéis que vem apresentando problemas relacionados à baixa produtividade do processo. Além disso, o equipamento disponível apresenta alto custo de manutenção, de aquisição e problemas ergonômicos. O objetivo do trabalho foi, portanto, o reprojeto da máquina, melhorando os aspectos de custo, operação, montagem e manutenção.

A segunda etapa foi o estudo do tema. Nessa etapa foi feito o estudo sobre o processo de restauração de papel, especialmente o processo de reenfibragem de papel, processo este que vai ser executado pela máquina a ser projetada. Foram estudados também os processos de fabricação de papel, que influenciam nas suas propriedades, e consequentemente na sua restauração, além dos processos de degradação do papel.

O processo de restauração de um documento, por sua vez, envolve diversas etapas, como, por exemplo, numeração das folhas, desmontagem, desacidificação etc, e, entre essas etapas, está o processo de reenfibragem do papel.

O processo de reenfibragem do papel consiste na execução das seguintes etapas: fixação do documento a ser restaurado em uma folha de papel mino, também conhecida como papel de arroz ou papel japonês; submersão da folha do documento em água deionizada; adição de solução com polpa de celulose à água que contem o documento, de forma a atingir toda a sua superfície; escoamento da água com polpa de celulose através do documento a ser restaurado, fixando a polpa nos locais danificados do documento, fortalecendo a sua estrutura; remoção da água do documento restaurado, deixando-o seco e pronto para ser manuseado. Cada uma destas tarefas deve ser realizada cuidadosamente para evitar danificar ou até mesmo inutilizar o papel manuseado. Esse material foi essencial para direcionar a etapa de geração de soluções, e para fornecer o critério de avaliação do produto que já existia no laboratório de restauro do mosteiro de São Bento e a nova máquina a ser projetada.

A partir do entendimento e levantamento do ciclo de vida do papel, foi realizada uma pesquisa e identificados, como clientes externos do equipamento, as entidades que trabalham com restauração de documentos e livros antigos. Analisando o mercado de Salvador, há duas dessas entidades que utilizam máquina obturadora de papéis no processo de restauração, sendo uma delas o Mosteiro de São Bento. Como clientes internos, foram identificadas as empresas fabricantes de peças, a própria equipe de projetos e os responsáveis pela montagem da máquina.

Na pesquisa por concorrentes, foi constatado que o mercado é dominado por uma única empresa que fornece equipamentos para restauração de documentos e livros antigos.

A etapa subsequente foi a de levantamento das necessidades do cliente. O levantamento foi realizado por meio de questionários respondidos pelos funcionários e colaboradores do Laboratório de Restauração de São Bento que operam a máquina do laboratório, bem como mediante discussões entre os integrantes da equipe de projetos e do laboratório.

No questionário, foram listados diversos itens relacionados aos aspectos de operação, segurança, custos, manufatura e montagem, manutenção e outros, que foram classificados pelo cliente, por meio de notas, quais itens uma máquina obturadora de papéis deve apresentar e como o equipamento disponível apresentava esses itens. Foi solicitado também que descrevessem problemas que a máquina apresentava e sugestões de melhorias, do ponto de vista de projeto e de operação, além da capacidade desejada para atender à demanda do laboratório.

Como o escopo deste trabalho é o de reprojeto de um produto já existente, todo o levantamento de necessidades foi realizado por comparação com o equipamento disponível no Laboratório de Restauração do Mosteiro de São Bento.

Após ter definido as necessidades dos clientes, que se encontram listadas na tabela 1, foi feita a conversão dessas necessidades em requisitos de projeto, que são parâmetros mensuráveis para o projetista. A equipe de projeto se reuniu e, mediante discussões em grupo, transcreveu cada necessidade em um ou mais requisitos de projeto. Ao medir esse(s) requisito(s), cada necessidade estaria sendo medida/avaliada. A tabela 1 mostra os requisitos que foram gerados para

cada necessidade.

Tabela 1 - Tradução das necessidades dos clientes em requisitos de projeto

NECESSIDADES DOS CLIENTES	REQUISITOS DE PROJETO
Menor tempo de processo	Tempo de preparação
	Tempo de execução
	Número de operações do processo
Maior facilidade de operação	Número de operações do processo
	Força necessária para operar
Melhor qualidade do papel restaurado	Rugosidade do papel
	Variação de espessura do papel
	Obturar o papel
Permite operar em segurança	Número de dispositivos de segurança
	Número de cantos vivos
	Baixo ruído
	Área sujeita a descargas elétricas
Inexistência de vazamentos	Volume de líquido desperdiçado
Baixo custo da máquina	Custo de aquisição da máquina
Baixo custo do processo	Consumo de energia
	Consumo de matéria-prima
Baixo custo de manutenção	Vida útil das peças
	Vida útil da máquina
	Custo das peças de reposição
Pequenas dimensões	Dimensões
Baixo peso	Peso da máquina
	Peso dos componentes
Maior facilidade de montagem/desmontagem	Número de operações de montagem/desmontagem
	Tempo de montagem/desmontagem
Confiabilidade do processo	Número de páginas danificadas no processo
Maior autonomia	Autonomia do processo
Fácil reposição de peças	Número de peças padronizadas
Maior facilidade de manutenção/limpeza	Número de peças

Por fim, foi feita a aplicação da matriz QFD. A análise da matriz QFD foi elaborada durante as reuniões com a participação de toda a equipe de projeto para discussão dos seus itens. Foram discutidas as relações dos seus 27 requisitos de projeto com cada uma das suas 15 necessidades, o que gera 405 análises. Para pontuar de cada item, cada integrante explicava suas razões da pontuação, até que se chegasse a um consenso. Caso houvesse muitas divergências, prevalecia a pontuação da maioria. Foi feita também a análise de como cada requisito interage entre si. A figura 1 mostra o relacionamento de algumas necessidades com alguns requisitos de projeto, enquanto a figura 2 mostra o relacionamento entre os requisitos.

NECESSIDADES		REQUISITOS														
		Tempo de preparação	Tempo de execução	Número de operações do processo	Rugosidade do papel	Varição de espessura do papel	Obturar o papel	Número de dispositivos de segurança	Número de cantos vivos	Baixo ruído	Área sujeita a descargas elétricas	Volume de líquido desperdiçado	Custo de aquisição da máquina	Vida útil das peças	Consumo de energia	Consumo de matéria-prima
Menor Tempo de processo		5	5	5	0	0	3	1	1	0	1	0	3	1	1	0
Maior Facilidade de operação		3	3	3	1	1	1	3	1	3	1	3	0	0	3	
Melhor qualidade do papel restaurado		3	3	1	5	5	5	0	0	0	0	1	3	3	1	3

Figura 1 - Relacionamento de algumas necessidades com alguns requisitos de projeto.

Após a aplicação da matriz QFD, obtém-se os requisitos de projeto que devem ser priorizados ao longo do seu desenvolvimento, formando assim a lista de especificação do produto. Analisando os resultados encontrados, pode-se dizer que estão dentro do esperado. Por exemplo, considerando que os dez primeiros requisitos são obrigatórios ao produto, tem-se o seguinte resultado, por ordem decrescente de prioridade: obter papel; autonomia do processo; custo de aquisição da máquina; vida útil das peças; número de operações de montagem / desmontagem; tempo de montagem / desmontagem; número de páginas danificadas no processo; número de peças; peso dos componentes; variação de espessura do papel.

Portanto, os resultados da matriz QFD mostram-se bastante coerentes, sendo estes requisitos os critérios adotados nas tomadas de decisão nas etapas seguintes do processo de desenvolvimento do produto.

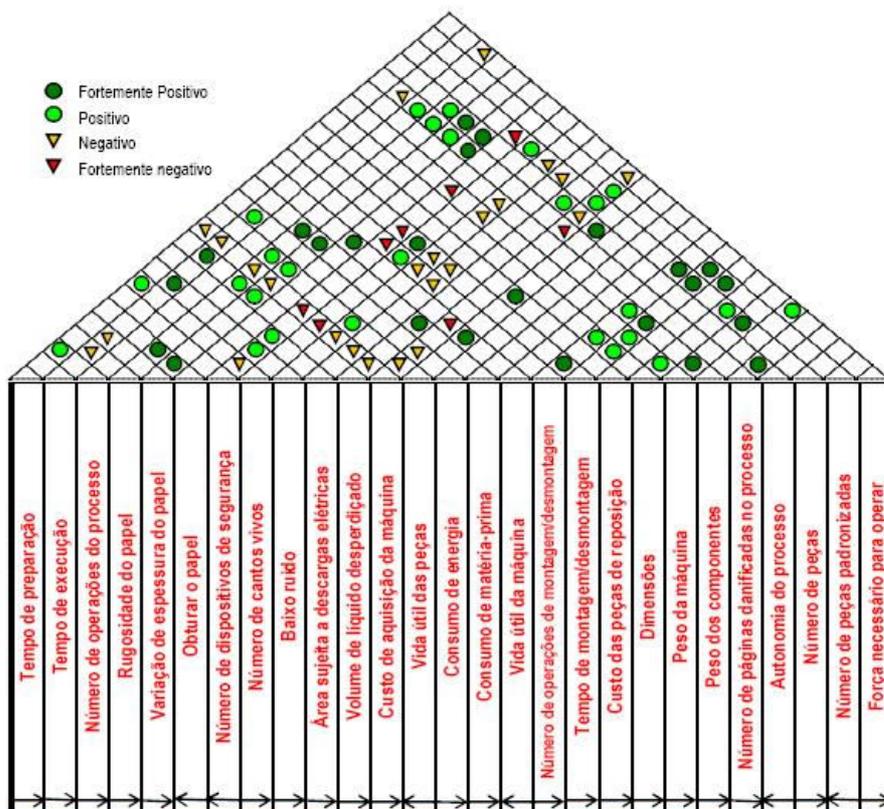


Figura 2 - Relacionamento entre os requisitos.

3.2 Projeto Conceitual

O primeiro passo do projeto conceitual é a definição da síntese funcional do equipamento. Foi identificada a função global que a máquina obturadora de papéis deve desempenhar, mostrando as entradas e saídas de energia,

material e informação, como também as interações com o usuário, o meio ambiente e os sistemas técnicos periféricos. A figura 3 mostra a função global da máquina obturadora de papéis.

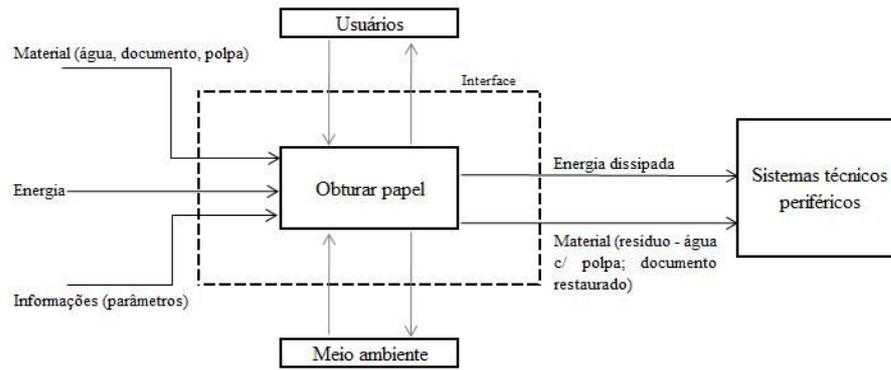


Figura 3 - Função global da máquina obturadora de papéis.

Em seguida, a função global é desmembrada em funções parciais e estas, se necessário, são decompostas em funções elementares. Para chegar às funções parciais, foram colocadas em sequência cada uma das etapas do processo de reenfibragem. Tendo a síntese funcional definida, foram geradas soluções para cada uma das funções descritas e princípios de soluções utilizando matriz morfológica. Foi utilizado o método do *brainstorming*, com o registro e discussão de todas as ideias dos integrantes da equipe. Houve uma preocupação da equipe em não eliminar ideia durante a discussão, por mais simples ou complexa, para não gerar inibição dos integrantes em criar novos princípios de solução. Depois, foram listadas na matriz morfológica aquelas que se mostraram mais interessantes.

A figura 4 mostra, por exemplo, os princípios de solução encontrados pela equipe de projeto para a função de fixar o papel à máquina.

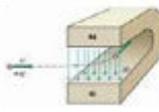
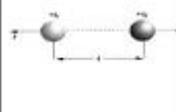
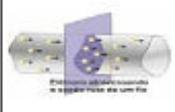
Fixar o Papel	Dispositivo de fixação do papel	 Manual	 Sem dispositivo	 Sucção
		 FORÇAS MAGNÉTICAS	 TENSÃO SUPERFICIAL	 Soprador
		 Pesos	 FORÇAS ELETROSTÁTICAS	 Empuxo
		 Manual	 Sem dispositivo	 CORRENTE ELÉTRICA
	Dispositivo de controle de força	 Sensor	 Chaveta	 ACOPLAMENTO VISCOZO

Figura 4 - Matriz morfológica parcial.

Combinando um princípio de solução para cada função elementar, obtém-se um conceito de solução. Foram desenvolvidos, para a máquina obturadora de papéis, três conceitos de solução. O primeiro foi com prateleiras que submergem, mostrado na figura 5(a). O segundo foi de gavetas removíveis, mostrado na figura 5(b). Por último, foi feito o modelo de compartimentos, mostrado na figura 5(c).

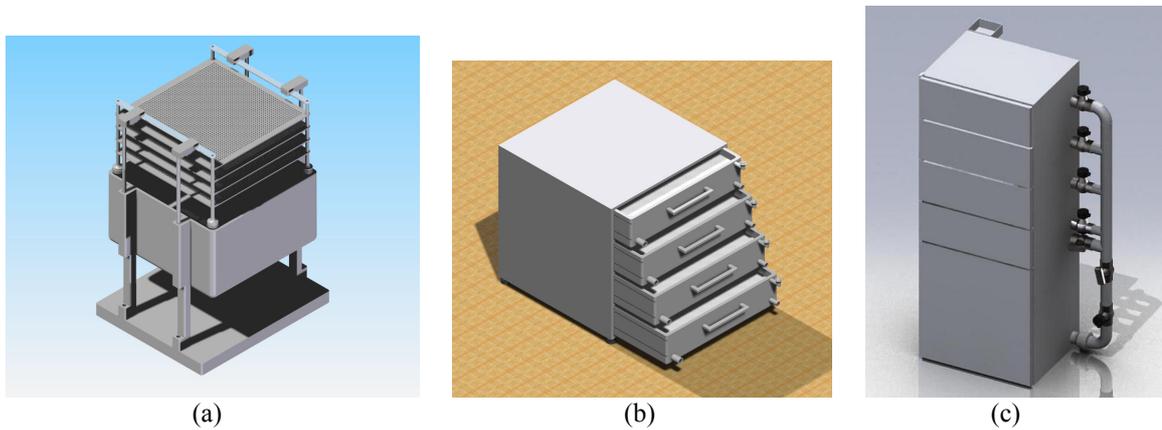


Figura 5 - (a) modelo com prateleiras que submergem; (b) modelo com gavetas; (c) modelo com compartimentos

O modelo com prateleiras é inviável tecnicamente, pois não realiza o processo de obturação em todas as folhas de forma satisfatória, já que a polpa de celulose ficaria retida nas prateleiras superiores.

O modelo com gavetas apresenta grandes problemas para a operação, pois ao remover as gavetas para a preparação do papel fora da máquina é necessário que as tubulações conectadas às mesmas sejam montadas e desmontadas todas as vezes que o processo for realizado. Além disso, a colocação de sistemas no interior das gavetas para execução das tarefas de injeção da polpa e agitação da água torna mais complexa a operação, já que as gavetas são móveis.

Por isso, o modelo com compartimentos se torna o mais viável dos três, pois soluciona todos os problemas citados anteriormente para os outros conceitos. Ele foi concebido já de forma a agregar os pontos positivos dos outros conceitos e eliminar os pontos negativos. Comparando-o com a máquina utilizada no Laboratório de Restauração de São Bento, o modelo com compartimentos apresenta as vantagens de poder obturar quatro folhas ao mesmo tempo, tem o processo mais simples para o operador e elimina o desconforto do pedal da bomba, aspecto bastante criticado pelos clientes.

3.3 Projeto preliminar

A fase de projeto preliminar foi desenvolvida considerando os subsistemas identificados na etapa de elaboração da Síntese Funcional. Tais subsistemas são melhor compreendidos avaliando a sequência do processo de obturação realizado pelo equipamento, que por sua vez, envolve as seguintes etapas: o operador retira a tela de nylon do compartimento que realiza a reenfibragem, em seguida, fixa o papel na tela, e conduz novamente a tela de nylon para o local de origem. A bomba é acionada, conduzindo a água do tanque de armazenamento de água deionizada para os compartimentos. Uma bóia de nível, presente em cada compartimento, aciona sua respectiva válvula solenóide, impedindo a passagem do fluxo de água. Ao atingir o nível pré-estabelecido, após todas as válvulas solenóides fecharem, o motor é desligado e a solução com polpa de celulose é lançada nos compartimentos. Um motor elétrico, com uma pá acoplada ao seu eixo, é acionado para agitar a água, garantindo assim uniformidade na área do papel atingida pela celulose. As válvulas solenóides são acionadas para escoar a água dos compartimentos de volta para o tanque, retendo a celulose no papel restaurado. O operador retira o papel dos compartimentos e assim o processo é finalizado. Esse processo descrito pode ser acompanhado por meio da Figura 6. O leiaute físico da máquina é ilustrado na figura 7.

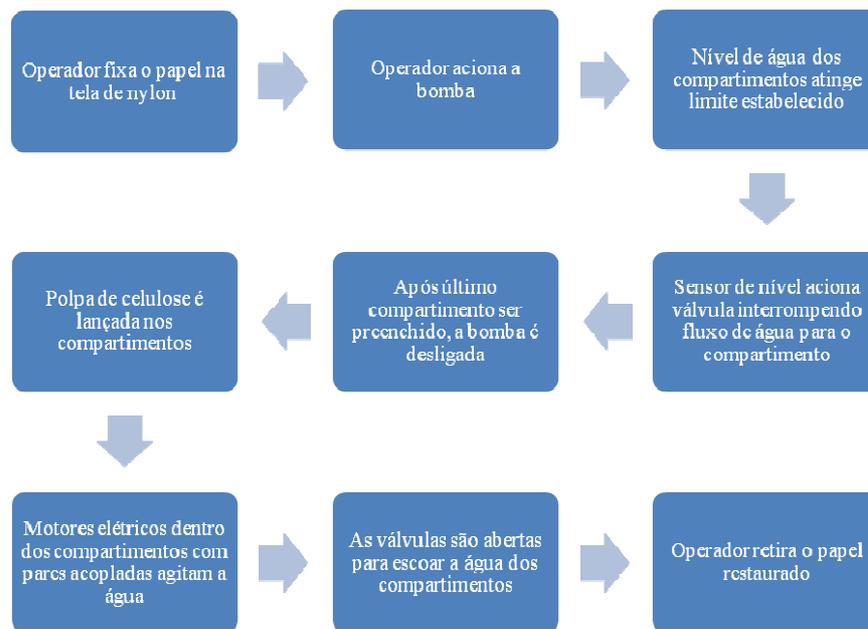


Figura 6 – fluxograma de funcionamento da Máquina obturadora de papéis.

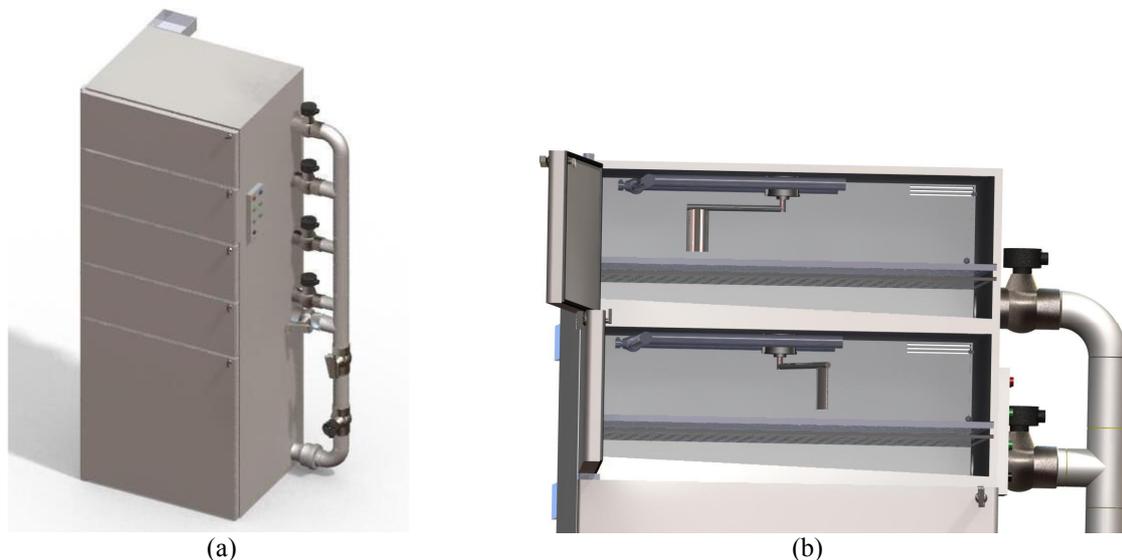


Figura 7 – Máquina obturadora de papéis; (a) Vista isométrica; (b) Vista interior de compartimentos.

Após a obtenção do leiaute físico da máquina, foi realizada a seleção dos materiais para os seus componentes. Para a estrutura da máquina, foi selecionado o PVC, devido às suas propriedades mecânicas adequadas (limite de escoamento: 40,7 - 44,8 MPa; alongamento: 40 - 80 %), baixa densidade (1,30 - 1,58 g/cm³) e boa resistência à corrosão (CALLISTER, 2002). A estrutura da máquina é formada por placas rígidas de PVC, fixadas através de cantoneiras e parafusos, vedadas com cola polimérica. Foram desenvolvidas análises de tensões da base do tanque de armazenamento de água, utilizando o método dos elementos finitos, de forma a obter as dimensões adequadas.

O material escolhido para as cantoneiras e parafusos foi o aço inoxidável 316. Mediante a realização de cálculos foi possível determinar o padrão do parafuso a ser utilizado (SHIGLEY, 2005).

Para especificação da bomba foi necessário fazer o levantamento das curvas de perda de carga distribuída no sistema. Para isso, foi calculada a vazão da bomba, a partir do volume dos compartimentos e do tempo predeterminado para o enchimento dos mesmos. A Figura 8 esquematiza o sistema hidráulico da máquina.

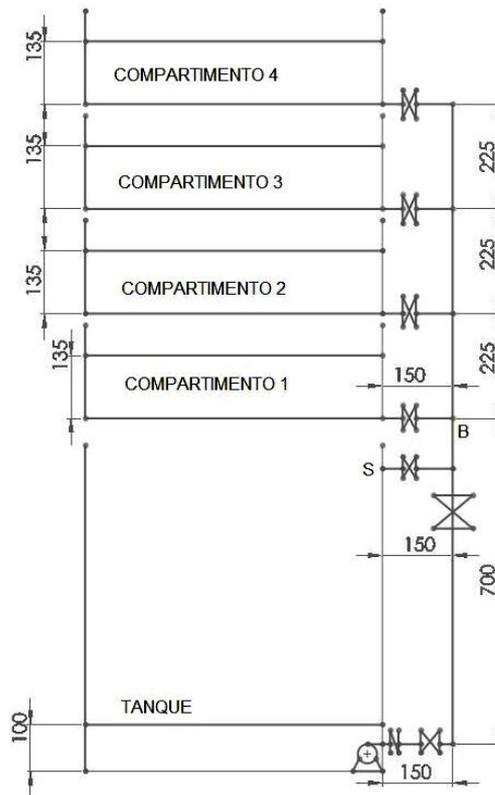


Figura 8 - Esquema do sistema hidráulico da máquina.

Considerando as dimensões das tubulações e os acessórios, foram levantadas as curvas de perda de carga de cada trecho. A curva de perda de carga total do sistema, necessária para determinar ponto de operação da bomba, foi obtida pela associação em paralelo das curvas dos trechos de cada um dos compartimentos (MATTOS, 1998). A figura 9 mostra as curvas de perda de carga dos trechos de cada compartimento e a sua associação em paralelo, que é a curva total do sistema.

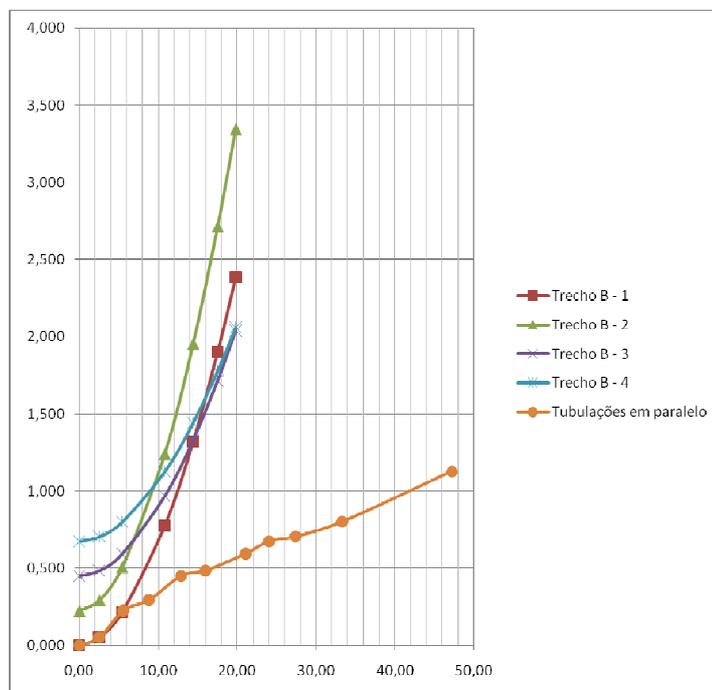


Figura 9 - Curvas de perda de carga vs. vazão.

Conhecendo o ponto de operação, foi possível especificar a bomba e conhecer a vazão que vai para cada um dos compartimentos.

Dessa forma, tendo especificado a estrutura construtiva da máquina, selecionado seus materiais, dimensionado

componentes e especificado os equipamentos, foi definido o projeto preliminar da máquina obturadora de papéis.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido o reprojeto de um equipamento utilizado no processo de reenfibragem de papéis. A importância deste processo é evidenciada nos resultados dos trabalhos dos laboratórios de restauro de livros raros de valor cultural inestimável. O equipamento até então utilizado apresenta uma ótima eficiência sob o aspecto da qualidade do processo, contudo, as suas deficiências, em relação a aspectos como ergonomia, produtividade e custo, foram explicitadas pelos usuários nos laboratórios visitados pela equipe de projeto.

Durante os trabalhos foram utilizadas ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos para orientar as várias tarefas desenvolvidas. Os resultados indicaram que a utilização de uma metodologia de desenvolvimento de produtos garantiu maior objetividade no projeto, evidenciando os aspectos deficientes do equipamento, até então utilizado no processo, e orientando a equipe de desenvolvimento na execução das etapas de forma planejada e sequencial, reduzindo o tempo de execução do projeto, ao evitar reprocessos. Isso resultou no projeto de uma máquina com maior produtividade, que possibilita obturar quatro vezes mais folhas num mesmo intervalo de tempo. A nova máquina apresenta também menor dependência do operador, pois, o nível de água que entra em cada compartimento, bem como o lançamento e dispersão da polpa celulósica, são controlados automaticamente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimentos a todos aqueles que se envolveram e auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho, especialmente aos integrantes do Gitec - Grupo de inovação Tecnológica da UFBA e do Laboratório de Restauração do Mosteiro de São Bento.

6. REFERÊNCIAS

- Callister, W., 2002, "Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução", LTC - Livros Técnicos e Científicos Ltda., Rio de Janeiro, Brasil.
- Mattos, E. E. e Falco, R., 1998, "Bombas Industriais", Interciência, Rio de Janeiro, Brasil.
- Pahl, G. and Beitz, W., 2007, "Engineering Design: A Systematic Approach", Springer, London, United Kingdom.
- Shigley, J. E., 2005, "Projeto de Engenharia Mecânica", Bookman, Rio de Janeiro, Brasil.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso, incluído nesse trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

USAGE OF THE INTEGRATED PRODUCT DEVELOPMENT TOOLS ON THE REDESIGN OF A PAPER RESTORATION MACHINE

Waldemar Lins de Medeiros Neto, wlmneto@hotmail.com¹
Bruno Rafael Lino Mota, bruno_lino@ig.com.br¹
Armando Sá Ribeiro Júnior, asrj@ufba.br¹

¹Departamento de construção e estruturas, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Rua Aristide Novis, nº 2, Federação, Salvador, Bahia. CEP: 40210-630.

***Abstract:** This work consists in the development of a paper restoration machine, equipment used for restoration of rare and old books, applying the integrated development tools as QFD matrix, functional synthesis and morphologic matrix, besides computational systems, such as CAD and CAE. The intent was developing an improved design of a paper restoration machine, towards a lower cost and optimized operation, assembly and maintenance. It will be shown the achieved results in any stage of design: planning and task clarification, conceptual design and embodiment design. In conclusion was obtained the embodiment machine design, with all of its systems described and formed, components detailed, materials selected and equipments specified. The results have shown that the analysis of the original equipment, using the above-mentioned tools, have allowed to identify some aspects associated to its deficiencies, which have been decisive to define one conception that take into account the clients necessities.*

***Keywords:** Product development; Paper restoration machine.*