

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ELIAS BITENCOURT DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA FILTRO PRENSA DE PLACAS E
MARCOS PARA REALIZAR O PROCESSO DE FILTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO
EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA**

CAXIAS DO SUL

2013

ELIAS BITENCOURT DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA FILTRO PRENSA DE PLACAS E
MARCOS PARA REALIZAR O PROCESSO DE FILTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO
EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado como requisito parcial para
conclusão do Curso de Engenharia
Mecânica na Universidade de Caxias do
Sul.

Supervisor: Ivandro Ceconello, Msc. Eng.

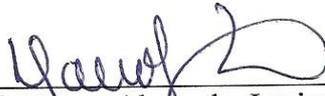
CAXIAS DO SUL

2013

ELIAS BITENCOURT DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA FILTRO PRENSA DE PLACAS E
MARCOS PARA REALIZAR O PROCESSO DE FILTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO
EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA**

**ESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
FOI APROVADO**



Prof. Marcos Alexandre Luciano, Dr. Eng.
Coordenador de Estágio II em Engenharia Mecânica



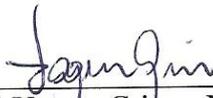
Prof. Ivandro Ceconello, Msc. Eng.
Supervisor de Estágio / Universidade de Caxias da Sul

CONCEITO FINAL:

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Sérgio da Silva Kucera, Msc. Eng.
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica / Universidade de Caxias da Sul



Prof. Vagner Grison, Msc. Eng.
Professor do Curso de Engenharia Mecânica / Universidade de Caxias da Sul



Sergio Natalino Colissi
Gerente Industrial / Veronese Indústria de Produtos Químicos

AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa Veronese Indústria de Produtos Químicos pela oportunidade de realização do meu TCC, considero este período do estágio como o de maior avanço pessoal e profissional que tive.

Não poderia deixar de agradecer em especial ao meu orientador e colega de trabalho Sérgio Colissi pela colaboração na elaboração do TCC. Além de cálculos matemáticos, inúmeras foram às brincadeiras que nos ajudaram a vencer mais uma etapa.

Aos inesquecíveis professores da graduação que contribuíram com o desenvolvimento do meu conhecimento e na minha forma de pensar.

Ao meu supervisor Msc. Ivandro Cecconello, pelo conhecimento transmitido no decorrer do desenvolvimento do TCC, ajudando muito no meu crescimento profissional.

Aos meus amigos que ao longo desta jornada muitas vezes suportaram minha ausência, mas mesmo assim sempre foram pessoas fantásticas. Agradeço por ter conhecidos vocês.

Ao meu Pai e minha Mãe que estiveram ao meu lado nestes sete anos e meio de engenharia, sempre me apoiando e me dando força nesta caminhada árdua. Não tenho palavras para agradecer. Sem vocês eu não seria ninguém.

“Se você quer ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si mesmo.”
Ayrton Senna da Silva

RESUMO

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de um equipamento para realizar o processo de filtração em uma indústria química, uma vez que a maneira como isso era feito não atendia mais as expectativas da empresa. Tal objetivo visava a melhoria desse processo, uma vez que a maneira como era realizado havia uma perda em ácido tartárico em média 225 kg/dia, além do equipamento anterior ser totalmente dependente do operador, gerando riscos e problemas ergonômicos. Para o seu desenvolvimento a metodologia do PDP foi investigada neste trabalho. Além do PDP, também foi realizada uma abordagem referente ao processo de filtração, mais especificamente nos filtros de pressão (filtro prensa de placas e marcos). O resultado obtido ao término do trabalho vem de encontro ao que a Veronese estava esperando: um equipamento semi-automático, redução da perda em ácido tartárico para a média de 67,5 kg/dia, cerca de 333% menor que o equipamento anterior, além de estar enquadrado nas leis vigentes de segurança e ergonomia.

Palavras-chave: PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto), Filtração e Ácido tartárico.

ABSTRACT

The aim of this work was the development of a device to perform the filtration process in a chemical plant, since the way it was done did not meet the company's expectations more. This objective was to improve this process, since the way it was done was a loss tartaric acid in average 225 kg / day in addition to the previous equipment being totally dependent on the operator, resulting risks and ergonomic problems. In order to develop the methodology of the PDP has been investigated in this work. Besides the PDP, was also carried an approach for the filtering process, more specifically in pressure filters (filter press plates and frames). The result obtained at the end of the work comes against the Veronese was expecting any equipment semi-automatic, the loss reduction as tartaric acid to the average of 67.5 kg / day, about 333% less than the previous device, besides being framed in the laws of safety and ergonomics.

Keywords: PDP (Product Development Process), Filtration and Tartaric Acid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Consumo mundial de ácido tartárico – 2009.....	16
Figura 1.2 – Quantidade de ácido tartárico exportado pela Veronese.....	16
Figura 1.3 – Percentual de exportação acumulado	17
Figura 1.4 – Fluxograma do processo	17
Figura 2.1 – Visão geral do PDP	20
Figura 2.2 – Exemplo de Quality Function Deployment	24
Figura 2.3 – Estrutura de funções.....	25
Figura 2.4 – Filtro prensa de placas e marcos	28
Figura 2.5 – Típico filtro prensa de marcos e placas.....	29
Figura 2.6 – Tipo de fechamento de placas conforme tipo de força aplicada	30
Figura 2.7 – Dispositivo de deslocamento das placas	30
Figura 2.8 – Dispositivo de remoção de resíduos de torta.....	31
Figura 2.9 – Dispositivo de limpeza dos tecidos de filtração por jato de água	31
Figura 2.10 – Filtro de tambor rotativo a vácuo	32
Figura 2.11 – Ciclo de operação do filtro tambor rotativo a vácuo.....	33
Figura 2.12 – Ciclo esquemático de filtração de discos rotativo a vácuo	33
Figura 2.13 – Filtro horizontal de correia.....	34
Figura 2.14 – Filtro hiperbárico.....	35
Figura 2.15 – Decanter centrífugo.....	36
Figura 3.1 – Placa	41
Figura 3.2 – Filtro prensa atual.....	42
Figura 3.3 – Sistema de acionamento hidráulico.....	43
Figura 3.4 – Rosca transportadora principal e secundária respectivamente.....	43
Figura 3.5 – Caixa de descarte do sulfato de cálcio	44
Figura 3.6 – Fluxograma das etapas	46
Figura 4.1 – Estrutura de função do filtro prensa	57
Figura 4.2 – Nova placa do filtro prensa	61
Figura 4.3 – Pacote de placas fechado e aberto.....	62
Figura 4.4 – Compressor de parafuso.....	63
Figura 4.5 – Unidade hidráulica	64
Figura 4.6 – Comprimento livre de flambagem conforme tipo de montagem	65
Figura 4.7 – Vista superior do filtro prensa.....	66

Figura 4.8 – Diagrama hidráulico.....	67
Figura 4.9 – Dimensões da estrutura	67
Figura 4.10 – Dimensão do conjunto da estrutura.....	68
Figura 4.11 – Carga aplicada e os apoios	68
Figura 4.12 – Tensões de von Mises na viga principal	69
Figura 4.13 – Placa revestida pelo tecido de filtração.....	70
Figura 4.14 – Painel elétrico sinótico	72
Figura 4.15 – Comparação entre Equipamento Anterior x Equipamento Novo	75
Figura 4.16 – Comparação entre o tempo de ciclo Equipa. Anterior x Equipa. Novo.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Necessidade dos clientes e peso	52
Tabela 2 – Requisitos de projeto e suas descrições	53
Tabela 3 – Classificação dos requisitos e metas.....	55
Tabela 4 – Matriz morfológica do filtro prensa.....	58
Tabela 5 – Alternativas de projeto.....	59
Tabela 6 – Matriz de decisão do filtro prensa	59
Tabela 7 – Propriedades da polpa, filtrado e sulfato de cálcio	60
Tabela 8 – Dados das placas e marcos	61
Tabela 9 – Análise final dos requisitos de projeto.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEH	<i>Chemical Economics Handbook</i> – Manual da Economia Química
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
EF	Estrutura de Funções
FE	Funções Elementares
FG	Função Global
FP	Funções Primárias
FTR	Filtro Tambor Rotativo
LV	Líquido Vermelho
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i> – Tempo Médio Entre Falhas
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i> – Tempo Médio de Reparo da Máquina
NC	Necessidades dos Clientes
NR	Norma Regulamentadora
PP	Polipropileno
PCM	Pés cúbicos por minuto
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> – Desdobramento da Função Qualidade
RQ	Requisitos de Qualidade
SESMT	Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho
TCa	Tartarato de Cálcio
UCS	Universidade de Caxias do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2	JUSTIFICATIVA DE ESTÁGIO.....	16
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivo geral.....	19
1.3.2	Objetivos específicos.....	19
1.4	DESCRIÇÃO DA EMPRESA E AMBIENTE DE ESTÁGIO.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	20
2.1.1	Projeto do produto	21
2.1.2	Metodologia de projeto	22
2.1.3	Fases de projeto	22
2.1.3.1	Projeto informacional	22
2.1.3.2	Projeto conceitual	24
2.1.3.3	Projeto detalhado	26
2.2	EQUIPAMENTOS PARA FILTRAÇÃO.....	26
2.2.1	Filtros de pressão	27
2.2.1.1	Filtro prensa de placas e marcos.....	27
2.2.1.1.1	<i>Principio de operação</i>	<i>28</i>
2.2.1.1.2	<i>Aspectos construtivos</i>	<i>29</i>
2.2.2	Filtros a vácuo.....	32
2.2.2.3	Filtro horizontal de correia	34
2.2.3	Filtros hiperbáricos	35
2.2.4	Filtros centrífugos.....	36
2.2.5	Fatores que influenciam o processo de filtração.....	37
2.2.7.1	Viscosidade da polpa	37
2.2.7.2	Temperatura da polpa	38
2.2.7.3	Pressão de operação.....	38
2.2.7.4	Lavagem da torta	39
2.2.7.5	Espessura de torta	39

2.2.7.6	Tamanho de partículas da polpa	39
2.2.7.7	Meio filtrante	40
2.2.7.8	Concentração de sólidos na polpa	40
3	PROPOSTA DE TRABALHO	41
3.1	CENÁRIO ATUAL	41
3.1.1	Locomoção das placas	41
3.1.2	Acionamento hidráulico	42
3.1.3	Bandeja e rosca transportadora	43
3.1.4	Ineficiências do processo	44
3.1.5	Acionamento de bombas e válvulas	45
3.1.6	Vazão de ar de secagem	45
3.1.7	Potenciais melhorias	45
3.2	PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DO PLANO DE TRABALHO	46
3.2.1	Etapa 1: Levantamento de informações	47
3.2.2	Etapa 2: Elaboração do QFD	47
3.2.3	Etapa 3: Projeto conceitual.....	48
3.2.4	Etapa 4: Cálculos preliminares	48
3.2.5	Etapa 5: Aprovação	48
3.2.6	Etapa 6: Projeto detalhado	49
3.2.7	Etapa 7: Construção do equipamento	49
3.2.8	Etapa 8: Teste e validação do equipamento	49
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	51
4.1	ETAPA 1: LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES	51
4.1.1	Necessidade dos clientes	51
4.1.2	Requisitos do Projeto.....	53
4.2	ETAPA 2: ELABORAÇÃO DO QFD	54
4.3	ETAPA 3: PROJETO CONCEITUAL	56
4.3.1	Estrutura de função.....	56
4.3.2	Desenvolvimento da matriz morfológica	57
4.3.3	Elaboração da matriz de decisão.....	58
4.4	ETAPA 4: CÁLCULOS PRELIMINARES	60

4.4.1	Dimensionamento e seleção dos componentes.....	60
4.4.1.1	Placas e marcos.....	60
4.4.1.2	Bomba centrífuga	62
4.4.1.3	Compressor de parafusos.....	62
4.4.1.4	Unidade hidráulica.....	63
4.4.1.5	Cilindros hidráulicos.....	64
4.4.1.6	Estrutura	67
4.4.1.7	Tecidos de filtração	70
4.4.1.8	Atuadores pneumáticos e Painel elétrico.....	70
4.5	ETAPA 5: APROVAÇÃO	72
4.6	ETAPA 6: PROJETO DETALHADO	73
4.7	ETAPA 7: CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO	73
4.8	ETAPA 8: TESTE E VALIDAÇÃO DO EQUIPAMENTO	74
4.9	ANÁLISE FINAL	76
	CONCLUSÃO.....	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	GLOSSÁRIO	84
	APÊNDICE A – Matriz QFD	85
	APÊNDICE B – Montagem do equipamento.....	86
	ANEXO A – Catálogo Atuador pneumático de simples ação Actreg	87
	ANEXO B – Catálogo de correntes de elos RUD.....	87
	ANEXO C – Bomba centrífuga	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O ácido tartárico é amplamente usado na vitivinicultura para correção da acidez de vinhos; na indústria alimentícia para fabricação de sucos, refrescos e pães; na indústria farmacêutica: utilizado como adjuvante, na indústria têxtil: como mordente na tinturaria da seda; na indústria de cosméticos: xampus e loções capilares; na Indústria química: para a obtenção de tartaratos e como sequestrante de íons metálicos.

O ácido tartárico é obtido a partir do processamento das borras vínicas e outros subprodutos de origem enológica, fontes naturais de bitartarato de potássio. O tartarato de cálcio é o produto intermediário para produção de ácido tartárico, sendo precipitado por reação com carbonato, cloreto ou sulfato de cálcio.

O crescimento mundial do consumo de ácido tartárico em bebidas (principalmente no vinho) e comidas é significativo, representando cerca de 68% do consumo mundial em 2009.

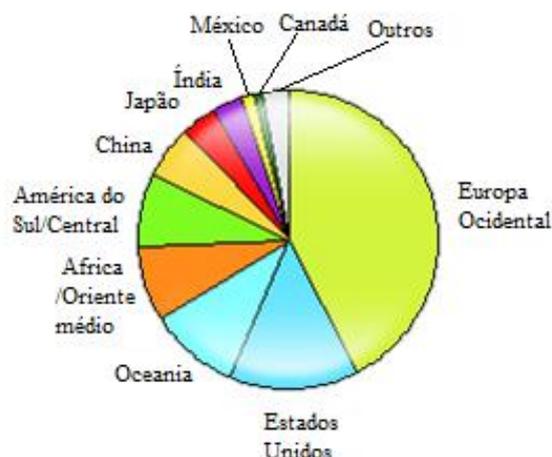
Nessas aplicações deverá crescer a uma taxa média anual de 3,4% durante o período 2009-2014, conforme *Chemical Economics Handbook* (CEH) (2010). O CEH é a principal fonte de análise global de negócios para a indústria química. Com publicação de mais de 300 produtos químicos industriais, sendo um deles o ácido tartárico.

Os principais fatores que explicam o crescimento do consumo de ácido tartárico, segundo CEH (2010), são:

- a) aumento do consumo do vinho nos Estados Unidos, América do Sul, Austrália, Oriente Médio, África (principalmente África do Sul) e Ásia;
- b) aumento da popularidade de alimentos processados e prontos para beber;
- c) segurança alimentar, períodos (vida de prateleira) mais longos para alimentos e bebidas;
- d) maior consumo de ácido tartárico na indústria farmacêutica, principalmente na China.

Conforme dados da CEH (2010), a Europa detém a maior fatia do consumo de ácido tartárico no mundo; logo após, aparece os Estados Unidos e posteriormente a Oceania. Esses dados podem ser observados na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Consumo mundial de ácido tartárico – 2009

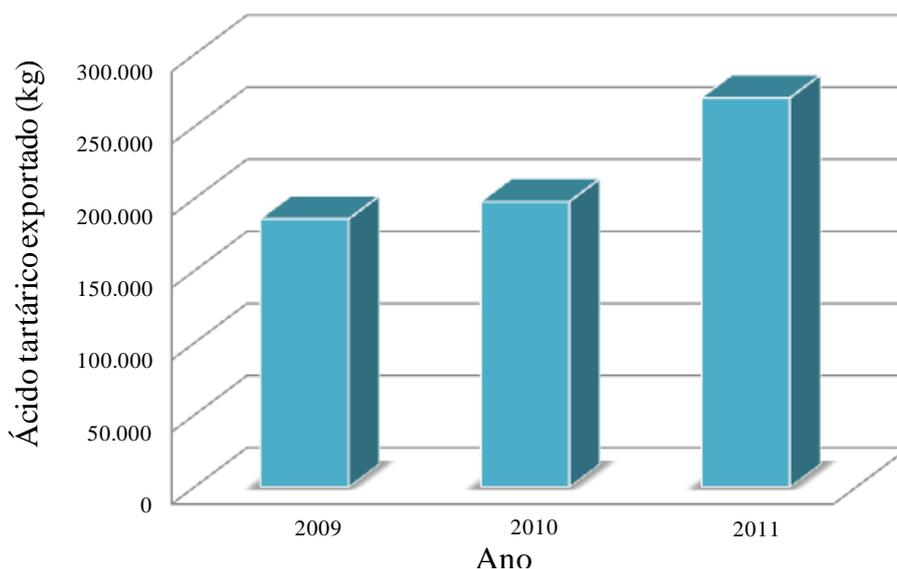


Fonte: Adaptado de Chemical Economics Handbook (2010)

1.2 JUSTIFICATIVA DE ESTÁGIO

Verifica-se na Figura 1.2 o aumento das exportações da Veronese, seguindo o crescimento mundial de consumo de ácido tartárico para os anos de 2009, 2010 e 2011.

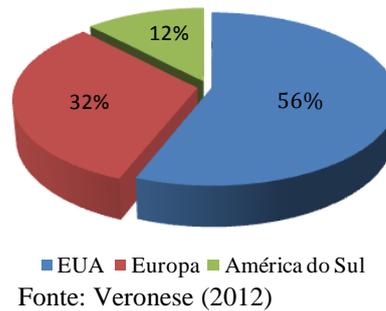
Figura 1.2 – Quantidade de ácido tartárico exportado pela Veronese



Fonte: Veronese (2012)

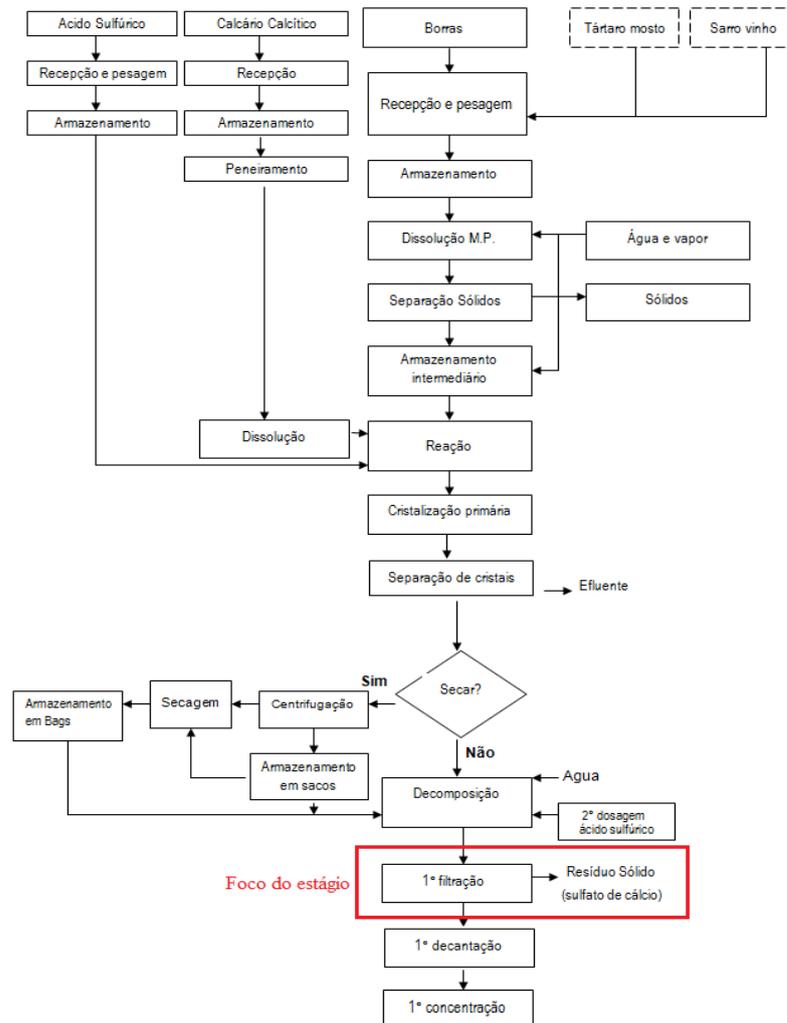
Como foi abordado pela CEH (2010), a Europa e os Estados Unidos são os grandes consumidores de ácido tartárico no mundo. Isso também se reproduz na Veronese, onde eles são os principais parceiros comerciais da empresa, com um percentual de 88% das exportações no acumulado dos anos de 2009 a 2011. Isso é demonstrado na Figura 1.3.

Figura 1.3 – Percentual de exportação acumulado



Para atender à procura de ácido tartárico do mercado mundial, a Veronese vem melhorando seus processos gradualmente, com o intuito de aumentar a produção visando a lucratividade e satisfação do cliente. Na busca dessa melhoria contínua de seus processos, foi evidenciado perdas na etapa da primeira filtração para a obtenção do ácido tartárico, conforme fluxograma do processo. Isso é demonstrado na Figura 1.4.

Figura 1.4 – Fluxograma do processo



Fonte: Veronese (2012)

Esse processo ocorre no setor do Tartarato de Cálcio (TCa). O atual processo de filtração entre o Líquido Vermelho concentração 20 Graus Baumé (LV 20), e o sulfato de cálcio (CaSO_4) é extremamente manual, demorado, e com perdas consideráveis no processo.

No filtro prensa atual não é possível realizar melhorias tanto em máquina quanto em processo. O equipamento sofre inúmeras paradas por manutenção corretiva. O *Mean Time to Repair* (MTTR) ou Tempo Médio de Reparo da Máquina é cerca de 1 hora e 30 minutos.

Porém o *Mean Time Between Failure* (MTBF) ou Tempo Médio Entre Falhas é de aproximadamente 50 horas, e a média mensal da disponibilidade desse equipamento é de 82 % do tempo de operação. A máquina opera apenas em um turno (8 horas e 48 minutos), 5 dias por semana, 220 horas mensais. Mas para atender à produção é necessária a média de 45 horas extras mensais.

Segundo a NR 17 - Ergonomia (2007), as condições de trabalho apropriadas incluem aspectos relacionados ao levantamento; transporte e descarga de materiais; ao mobiliário; aos equipamentos, às condições ambientais do posto de trabalho e à própria organização do trabalho. Diante dessa referência o equipamento atual é deficitário e não atende plenamente a NR 17, nos aspectos do equipamento e condições ambientais do local de trabalho. A NR 12 – Segurança em Máquinas ou Equipamentos também não é totalmente atendida, pois a máquina está muito defasada e a adequação desta nova norma se torna inviável técnica e financeiramente. A operação desta máquina é totalmente manual, desde o seu acionamento por cilindro hidráulico até a descarga da torta, sulfato de cálcio (CaSO_4).

Atualmente o tempo de limpeza da máquina é demorado, pois o processo é por batelada e a cada ciclo de filtração é necessário a limpeza. No processo atual são realizadas 6 filtrações por dia. Essas limpezas consistem em:

- a) afastar as placas do filtro prensa e remover o sulfato de cálcio que está preso entre elas e os marcos;
- b) limpar as roscas transportadoras helicoidais que recebem o material oriundo das placas e transportam o sulfato para a caixa de descarte.

Nessa limpeza são gastos em média 2 horas e 20 minutos por turno, ou seja, cerca de 20% do período integral de operação do equipamento. Esse tempo de limpeza é considerado como tempo de processo. Também há perdas no processo pela ineficiência da máquina. A perda de produção em ácido tartárico fica numa concentração em torno de 15 g/L (225 kg/dia). Portanto o foco deste estágio é abordar o projeto e construção de uma máquina filtro prensa de placas e marcos para a filtração sólido-líquido entre o LV 20 °Be e o sulfato de cálcio (CaSO_4).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver uma máquina filtro prensa de placas e marcos para realizar o processo de filtração sólido-líquido entre o LV 20 e o sulfato de cálcio (CaSO_4), objetivando a redução de perdas neste processo.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Investigar a fundamentação teórica relativa ao processo de filtração sólido-líquido.
- b) Mapear as perdas do processo atual.
- c) Definir os requisitos de projeto para a máquina.
- d) Construir e testar a máquina.
- e) Analisar resultados obtidos entre máquina antiga x máquina nova.

1.4 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E AMBIENTE DE ESTÁGIO

A Veronese Produtos Químicos, fundada em 1911, é a única empresa Brasileira que produz ácido tartárico. É uma empresa de capital nacional com matriz em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. Composta por uma empresa *holding* de capital fechado (Veronese & Cia. Ltda), a empresa possui duas outras unidades operacionais: São Marcos/RS, onde fabrica sulfitos e dióxido de enxofre (SO_2) e Taubaté/SP, que realiza a distribuição de SO_2 no estado de São Paulo. Atualmente a matriz conta com quadro de 31 funcionários em uma área fabril de 14.000 m². Os principais produtos produzidos na planta de Caxias do Sul são: ácido tartárico, cremor de tártaro, sal de Seignette ou sal de Rochelle e ácido tânico.

O presente estágio foi desenvolvido no setor de manutenção da Veronese. O setor é composto por cinco colaboradores: três mecânicos de manutenção, um técnico mecânico e um supervisor de manutenção que se reporta ao Diretor Geral da empresa.

Ainda na realização deste trabalho, houve apoio do laboratório físico-químico e setor administrativo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Rozenfeld et al. (2006) definem que o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) está inserido entre a empresa e o mercado, tendo como objetivo identificar as necessidades que o mercado demanda, ou até mesmo antecipar-se.

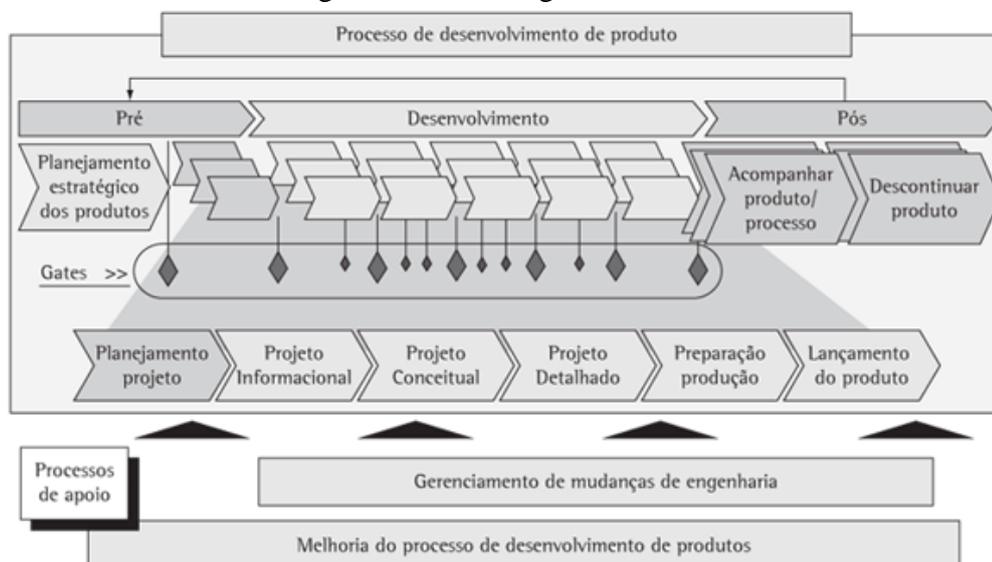
Bornia e Lorandi (2008) afirmam que o PDP atualmente é um fator crítico para manutenção da competitividade organizacional, em decorrência das rápidas mudanças nas preferências dos consumidores, provocando uma redução significativa no ciclo de vida dos produtos. Bornia e Lorandi (2008) e Forcellini (2002) comentam que a agilidade no surgimento de novas idéias de produtos e o seu rápido desenvolvimento é questão de sobrevivência para qualquer organização.

O processo PDP não pode dar-se de forma isolada, ele tem que estar inserido na cadeia, compartilhando as competências centrais de cada participante, para poder alavancar as capacitações individuais em prol da empresa (BORNIA; LORANDI, 2008).

Huston e Sakkab (2006) comentam que o PDP exige envolvimento, capacidades internas multifuncionais e externas com parcerias, para capacitar a empresa a gerar inovações que a possibilitam acompanhar a necessidade de crescimento.

Rozenfeld et al. (2006) separam o Processo de Desenvolvimento de Produto em três fases: Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós Desenvolvimento. Na Figura 2.1, tem-se uma visão geral destas etapas.

Figura 2.1 – Visão geral do PDP



Fonte: Rozenfeld et al. (2006)

2.1.1 Projeto do produto

Segundo Back (1983) o projeto de engenharia é uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente àquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura.

São vários os fatores que podem motivar a realização de um projeto: necessidades comerciais, melhorias de processo, redução de custos, mudança de mercado alvo, entre outros (TESSAROSLO, 2007).

Shigley, Mischke e Budynas (2004) destacam que o projeto desenvolvido pelo engenheiro deve ser:

- a) funcional: para atender às necessidades e expectativas do cliente;
- b) seguro: para não oferecer riscos durante sua operação;
- c) confiável: entende-se a probabilidade do produto desempenhar sua função sem que ocorram falhas durante seu ciclo de uso;
- d) competitivo: o produto deve ser um forte competidor em seu mercado;
- e) utilizável: o produto deve ser de fácil utilização, como uma ergonomia favorável, pequeno número de intervenções pelo operador, entre outros;
- f) manufaturável: o produto deve ter a mínima quantidade de peças possível, assim como ser de fácil montagem e produção;
- g) comercializável: o produto deve ser vendido facilmente, além da empresa dispor de serviços de pós-venda, para o melhor atendimento do cliente.

Norton (2004) afirma que, para a solução dos problemas encontrados, o engenheiro se baseia em conhecimentos das ciências naturais e de engenharia, na aplicação de técnicas e princípios científicos. Também deve levar em conta as restrições legais (leis e normas) e ter senso de responsabilidade ambiental.

Forcellini (2002) afirma que a atividade de projeto é atualmente considerada como um fator chave para o sucesso das empresas no mercado. Um bom projeto não garante o sucesso do produto, mas é de fundamental importância para tal.

Bennis e Mische (1999) destacam a falta de uma metodologia apropriada como uma das razões para o fracasso das ações de inovação de projetos e processos.

Pahl et al. (2005) ainda acrescentam que a solução encontrada em uma determinada época pode sofrer grandes modificações com passar do tempo, devido aos avanços tecnológicos.

2.1.2 Metodologia de projeto

O ramo da ciência que estuda os procedimentos que os projetistas utilizam é chamado de metodologia de projeto. A metodologia de projeto fornece aos projetistas o conhecimento sobre o processo de projeto (FORCELLINI; PENSO, 2003).

Para Kaminski (2000) a metodologia de projeto visa à melhoria dos processos de concepção de um determinado produto. Apesar de sua orientação ao processo, a metodologia de projeto não pode deixar de abordar questões relativas à natureza dos produtos que estão sendo projetados.

Forcellini e Penso (2003) afirmam que, para o desenvolvimento de produtos tornar-se efetivo e eficiente, o processo de projeto precisa ser planejado cuidadosamente e executado sistematicamente. Para que isso ocorra, é necessário a utilização de um procedimento sistemático, lógico e compreensível.

Sousa (1998) ainda comenta que o processo de projeto e o projeto de produto são tão intimamente relacionados entre si, que a compreensão da natureza do processo de projeto requer conhecimento sobre a natureza do tipo de produto concebido.

2.1.3 Fases de projeto

Como o propósito deste trabalho visa o desenvolvimento de um produto *one of a kind* (produto único), a produção em série não é almejada.

Para Rozenfeld et al. (2006), a macro fase de desenvolvimento do produto pode ser subdividida em três fases, descritas a seguir e discutidas na sequência.

- a) Projeto Informacional: onde as necessidades dos clientes são identificadas e transformadas em especificações do projeto.
- b) especificando dados do projeto e transformandas;
- c) Projeto Conceitual: onde a idéia conceitual do projeto é gerada e refinada;
- d) Projeto Detalhado: o projeto preliminar é totalmente desenvolvido dando origem ao produto final.

2.1.3.1 Projeto informacional

Segundo Forcellini (2002) o ponto de partida dessa etapa do projeto é o problema que deu origem a necessidade de desenvolvimento de um novo produto. O esclarecimento da

tarefa consiste na análise detalhada do problema de projeto, buscando-se todas as informações necessárias ao pleno entendimento do problema.

Roozenburg e Eekels (1995) afirmam que o modelo de produto obtido ao final dessa etapa é a especificação do projeto, que consiste em uma lista de objetivos que o produto a ser projetado deve atender. A partir disso, são definidas as funções e as propriedades requeridas do produto e possíveis restrições com relação a ele e ao próprio processo de projeto (normas, prazos).

Nesta fase os autores Akao (1990), Forcellini (2002), Hauser e Clausing (1988) e Pahl et al. (2005) indicam a utilização da ferramenta *Quality Function Deployment*, Desdobramento da Função Qualidade (QFD), para auxiliar no processo de tomada de informações.

Forcellini (2002) e Akao (1990) afirmam que o QFD é uma ferramenta bastante eficiente para transladar as vontades dos clientes (de natureza essencialmente abstrata) em metas de projeto (de natureza quantitativa). O QFD é uma ferramenta que assegura a qualidade ainda na fase de projeto.

Pahl et al. (2005) afirmam que o uso dos conceitos do QFD permite que o pessoal de marketing, engenheiros e planejadores da produção trabalhem juntos desde o primeiro instante da geração da necessidade do produto ou serviço.

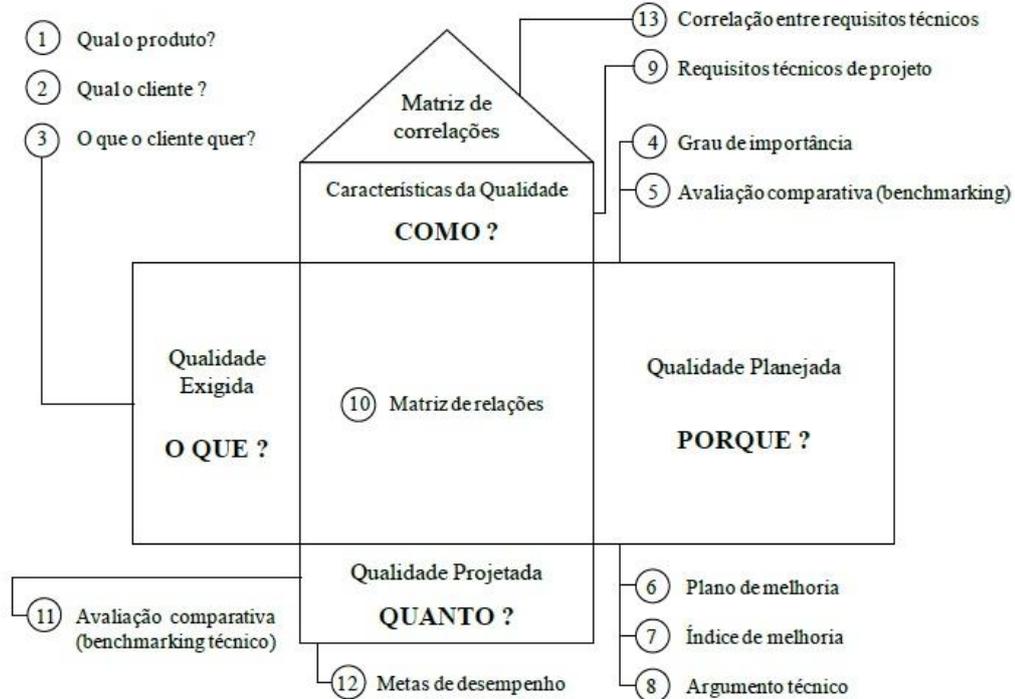
Por fim Rozenfeld et al. (2006) sugerem que, com a utilização do QFD, tem-se uma diminuição significativa do tempo de desenvolvimento pela redução do número de mudanças de projeto, e ao mesmo tempo reduzindo-se os custos decorrentes das mudanças de projeto em estágios avançados.

Hauser e Clausing (1988) e Pahl et al. (2005) demonstram que para a construção da versão simplificada do QFD, deve-se seguir os seguintes passos:

- a) identificar as NC's;
- b) atribuir valores para as NC's, a fim de identificar as mais críticas;
- c) transformar as NC's em linguagem de engenharia, ou seja, em requisitos de qualidade (RQ);
- d) preencher o corpo do QFD, que indica de forma qualitativa o quanto cada RQ afeta cada NC;
- e) por fim é feita a soma do valor de importância de cada RQ, a fim de classificá-los para que desta forma as adequações necessárias sejam priorizadas.

Na Figura 2.2, tem-se um exemplo de QFD.

Figura 2.2 – Exemplo de Quality Function Deployment



Fonte: Adaptado de Cheng e Mello Filho (2007)

2.1.3.2 Projeto conceitual

Forcellini (2002) afirma que o projeto conceitual é tido como a etapa mais importante na fase de projeto de um produto, pois as decisões tomadas nessa etapa influenciam sobremaneira os resultados das fases subsequentes.

Rozenfeld et al. (2006) comentam que o projeto conceitual é a etapa do processo de projeto que gera, a partir de uma necessidade detectada e esclarecida, uma concepção para um produto que a atenda da melhor maneira possível, sujeita às limitações de recursos e às restrições de projeto.

Para o andamento dessa fase, Forcellini (2002) e Rozenfeld et al. (2006) indicam primeiramente modelar funcionalmente o produto, desenvolvendo uma série de soluções para cada função, para que então possa ser escolhida a de melhor resultado.

Dentre diversas ferramentas existentes para o desenvolvimento dessa fase, foi selecionada a Estruturas de Funções (EF) para o modelamento funcional do produto. Segundo Rozenfeld et al. (2006) a partir da elaboração da estrutura de funções, pode-se tratar os problemas de forma generalizada, a fim de se obter melhores princípios de soluções.

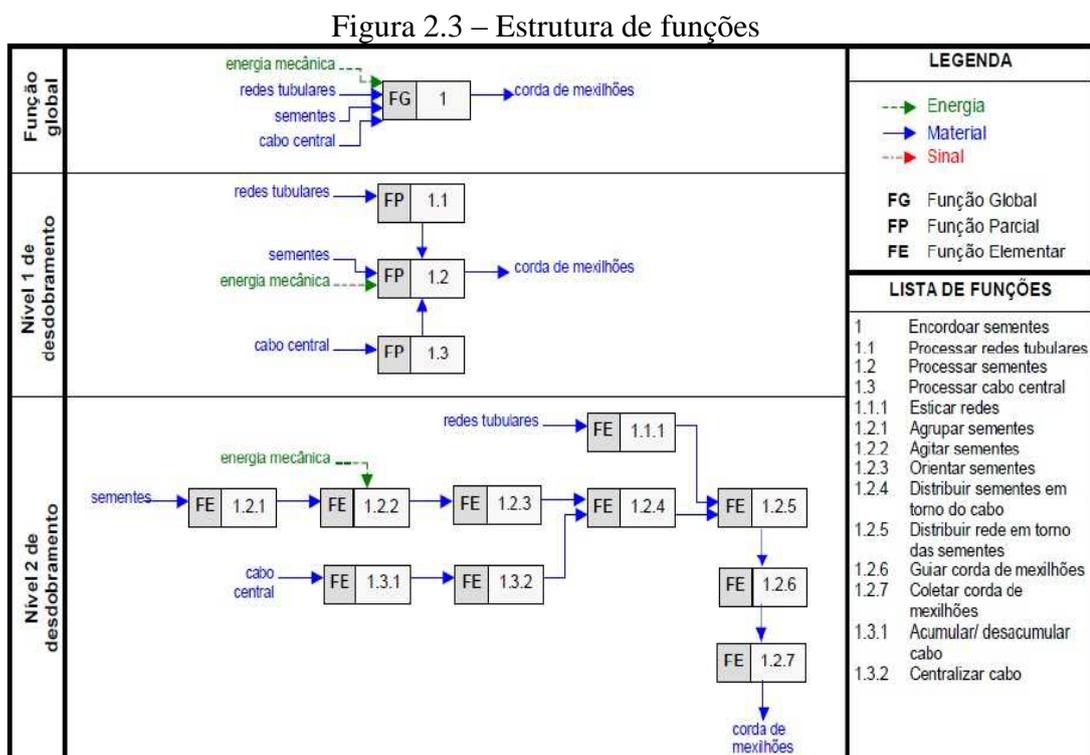
De acordo com Marques (2011) a generalização do problema propicia uma formulação ampla e aberta, quebrando preconceitos e favorecendo a um entendimento mais claro da tarefa de projeto.

De uma maneira geral, funções descrevem as capacidades desejadas ou necessárias que tornarão um produto capaz de desempenhar seus objetivos e especificações, ou seja, a partir da EF, modela-se funcionalmente o produto (MARQUES, 2011). O modelo de produto obtido ao final dessa fase é a concepção do produto, que, representa a solução fundamental que desempenha a função global.

Para Forcellini (2002) devem-se seguir as seguintes etapas para o desenvolvimento e criação da EF:

- definição da função global (FG) do sistema, indicando os materiais, energias e sinais na entrada e na saída da função;
- desdobrar a função global em funções primárias (FP);
- caso seja necessário, decompor as FP em funções elementares (FE), seguindo assim até que seja possível identificar para todas as funções um princípio de solução.

Na Figura 2.3 segue um exemplo de uma EF desenvolvida por Scalice (2003), para uma família de produtos modulares destinados ao cultivo e beneficiamento de mexilhões.



Fonte: Scalice (2003)

2.1.3.3 Projeto detalhado

Segundo Rozenfeld et al. (2006), Pahl et al. (2005), Forcellini (2002) e Pahl e Beitz (1988) essa é a etapa na qual, partindo da concepção de um produto, o projeto é desenvolvido, de acordo com critérios técnicos e econômicos e à luz de informações adicionais, até o ponto em que o projeto detalhado e documentado é possível ser encaminhado à produção.

Nessa etapa do projeto o modelo do produto evolui da concepção ao *layout* definitivo do produto, sendo expresso pela documentação completa necessária à produção do produto projetado (FORCELLINI, 2002). Ou seja, nessa fase são realizadas as seguintes tarefas:

- a) detalhamento dos componentes, conjuntos e subconjuntos;
- b) documentação das instruções de produção;
- c) elaboração do manual técnico do produto, quando necessário;
- d) revisão dos custos finais;
- e) prescrições para transporte e montagem, quando necessário;
- f) desenvolvimento de fornecedores;
- g) elaborar documento para treinamento, quando necessário;
- h) projeto da embalagem, quando necessário.

2.2 EQUIPAMENTOS PARA FILTRAÇÃO

Wakeman e Tarleton (2005) afirmam que o processo de filtração é muito utilizado nas indústrias de processamento químico, indústrias de minérios e outros ramos.

Por definição, segundo Coulson e Richardson (1988), no processo de filtração as partículas sólidas suspensas em um fluido são separadas usando um meio filtrante. De acordo com França e Massarani (2004) neste processo as partículas em fase sólida se acumulam no exterior do meio filtrante, resultando na formação da torta, durante o escoamento de um fluido, o filtrado. Segundo Perry e Chilton (1980) os filtros podem ser classificados por:

- a) Ciclo de operação: intermitentes (batelada) ou de forma contínua;
- b) Força impulsora: gravidade, pressão, centrífuga e vácuo.

Conforme considerações de Perry e Chilton (1980), Purchas (1996), Dickenson (1997), Tarleton e Wakeman (2007) e Sutherland (2008) os filtros que atuam por gravidade são raramente usados em processos industriais, a não ser em laboratórios de química e em pequenas operações.

De acordo com Tarleton e Wakeman (2007) os principais motivos que os filtros que operam por gravidade não são utilizados em escala industrial são:

- a) taxas de filtração relativamente baixas;
- b) área do piso ocupada por área de filtração excessivamente grande;
- c) custos elevados de mão de obra;
- d) manutenção difícil.

Portanto nesta abordagem sobre equipamentos de filtração não serão descritos equipamentos que atuam por gravidade. Na sequência deste relatório é descrito o equipamento que opera sobre pressão (filtros de pressão), de modo mais detalhado que os outros tipos de filtros, pois este equipamento é o foco do trabalho de estágio.

Os filtros de pressão (filtros de placas e marcos) terão um maior enfoque, pois a empresa por sua experiência centenária sempre utilizou esse modelo de equipamento para realizar esse processo da primeira filtração. Também com base de orçamentos preliminares, se observou que os filtros de placas e marcos têm o menor custo de todos que serão discutidos neste relatório. Outro motivo bastante relevante é sua forma construtiva, pois em relação aos modelos que serão abordados, é o que tem a maior simplicidade construtiva e de operação.

São descritos na sequência, os filtros que operam a vácuo (filtros a vácuo), força centrífuga (filtros centrífugos) e que combinam pressão e vácuo no mesmo processo (filtros hiperbáricos).

2.2.1 Filtros de pressão

Conforme Reali (1999) e Perry e Chilton (1980) são filtros de pressão, os filtros que operam acima da pressão atmosférica.

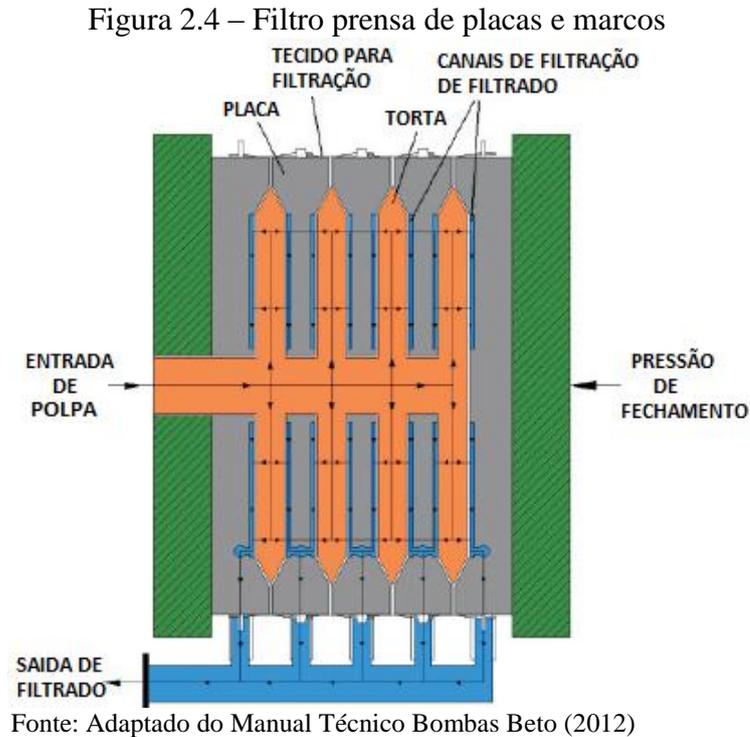
Os filtros de pressão podem ser alimentados por bomba de êmbolo; de diafragma; parafusos; centrífuga; por sopradores ou ainda por corrente proveniente de um reator pressurizado. Os filtros de pressão trabalham em ciclo de operação intermitente (batelada).

2.2.1.1 Filtro prensa de placas e marcos

O filtro prensa surgiu inicialmente para atender a indústria do açúcar na separação dos sucos através dos tecidos de filtração. A primeira unidade para desidratação de torta em larga escala surgiu nos Estados Unidos em 1920 (MIKI, 1998).

2.2.1.1.1 Princípio de operação

O princípio de operação do filtro prensa de placas e marcos, será descrito com base na Figura 2.4. Na Figura 2.4 apresenta-se o princípio de funcionamento.



De acordo com Miki (1998) o filtro prensa de placas e marcos é disposto por diversas placas individuais, as quais são revestidas com tecidos para filtração e formam um pacote de placas conforme a Figura 2.4. Para cada placa existe um marco, que juntamente com a placa vizinha forma uma câmara.

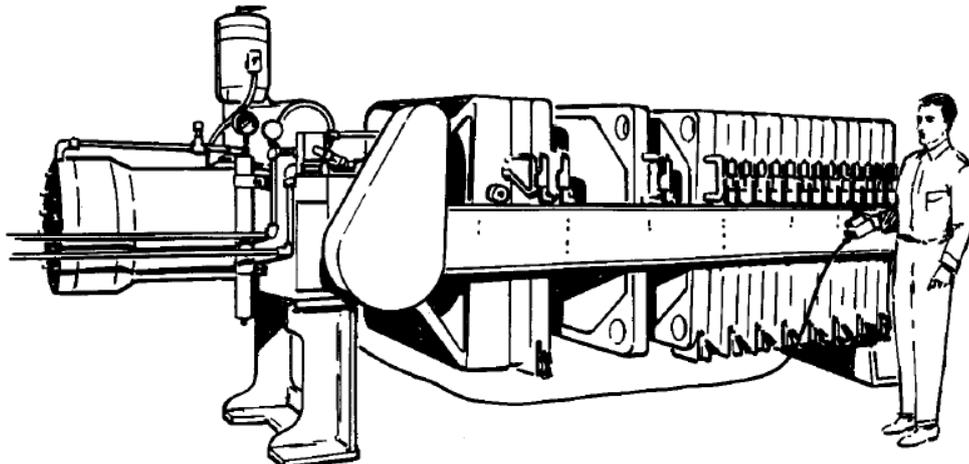
A polpa é bombeada para dentro do filtro prensa, passando através dos orifícios de alimentação das placas ao longo de todo comprimento do pacote de placas e entrando no interior das câmaras conforme destacado na cor laranja na Figura 2.4. À medida que o filtro prensa é preenchido de polpa, ocorre o preenchimento do interior da câmara, a pressão sobe gradualmente até atingir um valor máximo (McCABE, 1991).

Como a maior parte dos filtros de pressão opera com bombas centrífugas, são raras as vezes que a operação se dá a pressão constante ou a velocidade constante. Mas de acordo com as características da bomba, a operação ocorre à vazão constante durante os primeiros estágios e à pressão constante durante a maior parte do estágio final do ciclo (PERRY; CHILTON, 1980).

Cheremisinof (1998) afirma que o filtrado é transportado sobre a superfície das placas até os canais de filtração, que se encontram no canto das placas e é transportado de cada câmara através de tubulação demonstrado na Figura 2.4 na cor azul. A etapa de filtração está concluída quando a torta ocupa todo o espaço oferecido pelos marcos. Em seguida, é realizada a etapa de lavagem da torta, com a mesma bomba é bombeado água para o interior das placas para retirar resíduo de filtrado que está contido nela.

Por fim, é realizado a etapa de secagem da torta, tradicionalmente realizado por ar comprimido pelo compressor de pistão, mas em virtude de sua baixa vazão e baixa eficiência energética em comparação ao compressor de parafuso, o mesmo não está sendo utilizado (MIKI, 1998). Na sequência o filtro é aberto, ou seja, a pressão de fechamento do pacote de placas diminui até que as placas que estavam fazendo pressão se afastam e a torta é descarregada. Sendo a operação do filtro prensa caracteristicamente conduzida em batelada (FRANÇA; MASSARANI, 2004). Na Figura 2.5 pode-se visualizar uma ilustração de um típico filtro prensa de placas e marcos.

Figura 2.5 – Típico filtro prensa de marcos e placas.



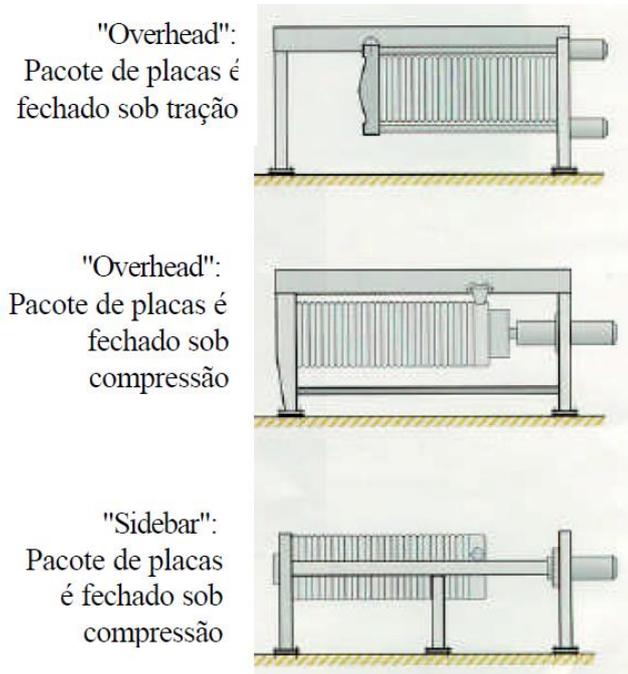
Fonte: McCABE et al. (1991)

2.2.1.1.2 Aspectos construtivos

Conforme Miki (1998) em relação à estrutura do filtro prensa as placas podem estar suspensas por uma viga superior, *Overhead*; ou suspensas sob vigas laterais, *Sidebar*.

De acordo com Netzsch (2012) a escolha do tipo de estrutura depende do tamanho do filtro prensa. Normalmente os menores filtros prensa são do tipo *Sidebar*, enquanto os maiores são do tipo *Overhead* (NETZSCH, 2008). A Figura 2.6 demonstra o tipo de fechamento e o tipo de força aplicada.

Figura 2.6 – Tipo de fechamento de placas conforme tipo de força aplicada

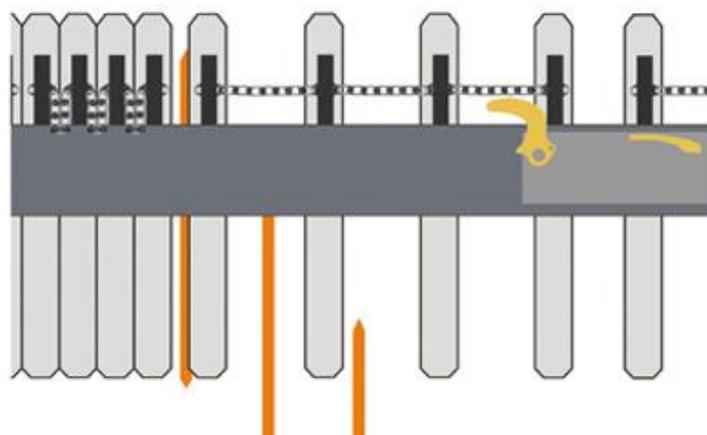


Fonte: Adaptado de Miki (2008)

Para qualquer um dos tipos de fechamento, o pacote de placas é comprimido hidráulicamente por um ou mais pistões. A pressão de fechamento das placas comporta aproximadamente 300 bar, a uma pressão de filtração máxima de 15 bar (MIKI,1998).

O filtro prensa pode ser equipado adicionalmente com um dispositivo de abertura das placas. Este dispositivo desloca as placas de filtração individualmente ou em sistema múltiplo, de tal maneira que as tortas situadas entre elas caem fora por gravidade. A Figura 2.7 mostra o dispositivo para deslocamento das placas.

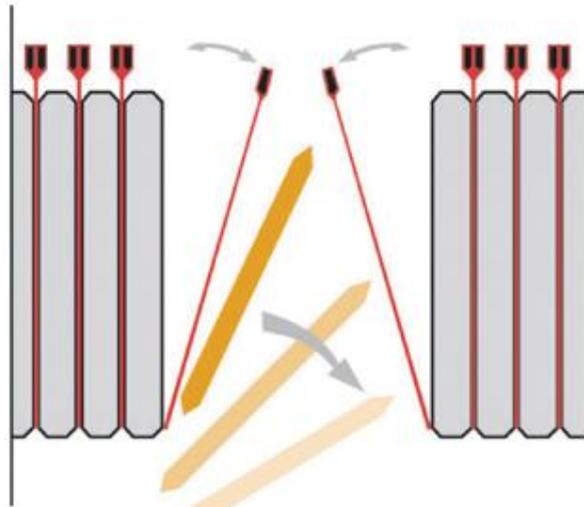
Figura 2.7 – Dispositivo de deslocamento das placas



Fonte: Andritz (2012)

Os resíduos de tortas remanescentes podem ser afastados através de um dispositivo automático para descarga, conforme ilustrado na Figura 2.8. Em caso normal isto se sucede manualmente com auxílio de uma espátula.

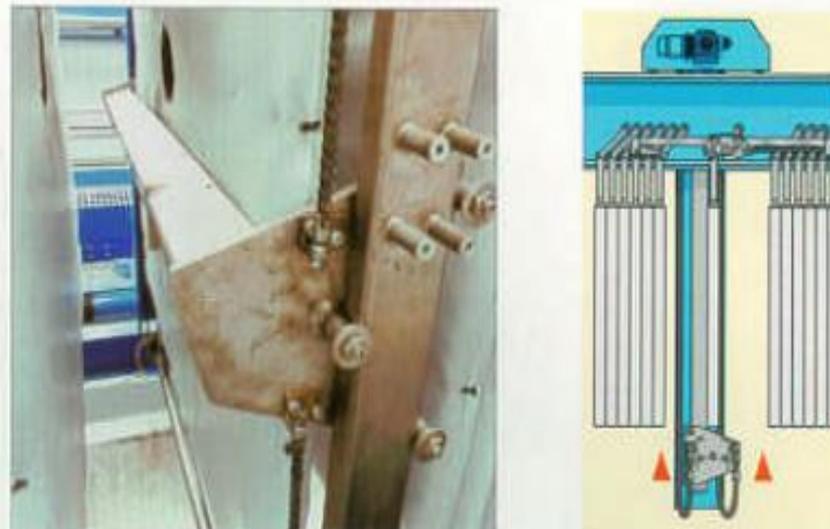
Figura 2.8 – Dispositivo de remoção de resíduos de torta



Fonte: Andritz (2012)

A limpeza dos meios filtrantes (tecidos para filtração) poderá ser realizada com um dispositivo automático de jato de água que percorre todo o comprimento de cada placa por um sistema de correia. Também pode ser instalado sobre a superfície das placas um sistema de tubos com água sob pressão de até 100 bar (ANDRITZ, 2012). Na grande maioria das aplicações o equipamento de limpeza é automatizado em conjunto com o dispositivo de deslocamento das placas. A Figura 2.9 ilustra o dispositivo de limpeza por jato de água.

Figura 2.9 – Dispositivo de limpeza dos tecidos de filtração por jato de água



Fonte: Adaptado de Miki (1998)

Por fim, para o descarte da torta (material sólido) utilizam-se roscas transportadoras helicoidais que a transportam para uma caixa de descarte ou o material sólido já cai diretamente nesta caixa.

2.2.2 Filtros a vácuo

Conforme Tarleton e Wakeman (2007) e Perry e Chilton (1980), filtros a vácuo são os filtros que operam sob pressões inferiores à atmosférica, ou seja, nesses equipamentos a pressão de filtração máxima será de 1 atm.

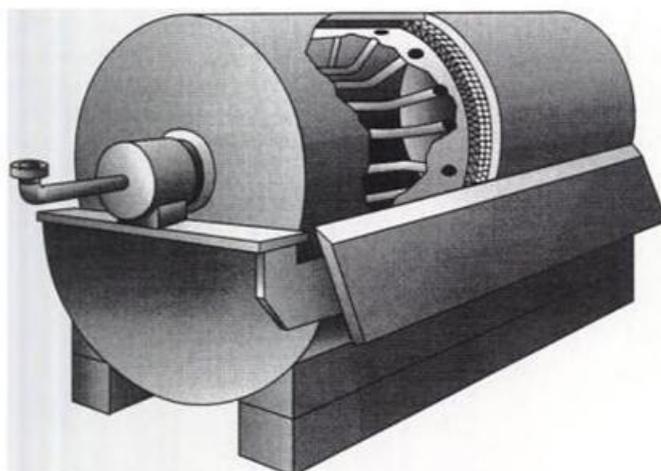
Os filtros a vácuo operam em ciclo contínuo. Podem ser dos tipos descritos a seguir.

2.2.2.1 Filtro tambor rotativo

De acordo com Coulson e Richardson (1989) o Filtro de Tambor Rotativo (FTR) consiste essencialmente em um grande tambor oco em volta do qual se instala o meio filtrante.

Dickenson (1997) recomenda que o FTR pode obter como produto final tanto o sólido como o líquido na mistura inicial sólido-líquido. Na sequência a Figura 2.10 ilustra o equipamento.

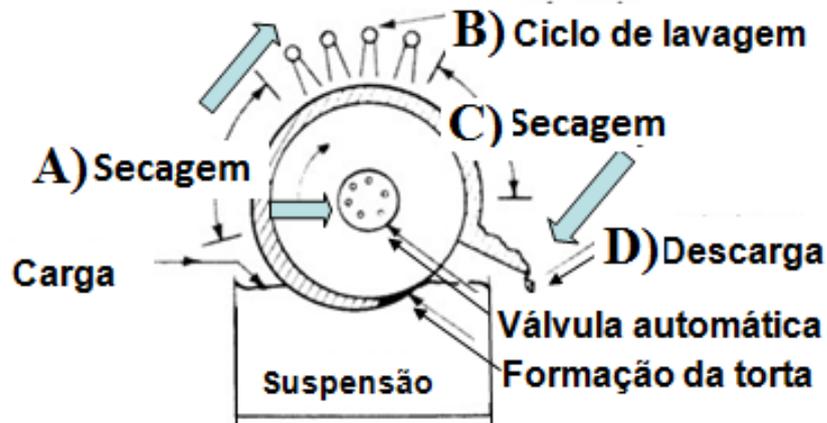
Figura 2.10 – Filtro de tambor rotativo a vácuo



Fonte: Adaptado de Dickenson (1997)

Com base na Figura 2.11 será descrito o princípio de operação do FTR. Segue Abaixo a Figura 2.11.

Figura 2.11 – Ciclo de operação do filtro tambor rotativo a vácuo



Fonte: Adaptado de Drum filters (2012)

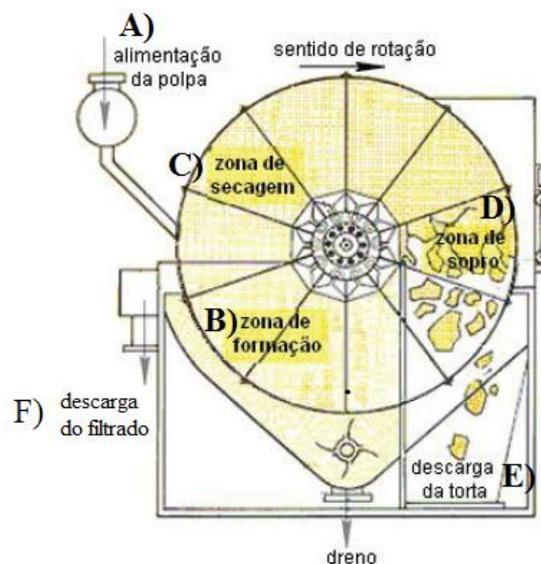
Segundo França e Massarani (2004) seguem a abaixo as operações ao longo de uma rotação do filtro tambor rotativo a vácuo:

- secagem a vácuo do líquido contido na torta;
- ciclo de lavagem da torta com o auxílio de um chuveiro;
- nova secagem do líquido contido na torta;
- descarga da torta em contato com o meio filtrante.

2.2.2.2 Filtro de discos rotativo

Conforme Guimarães (2011) é demonstrado na Figura 2.12 o ciclo de operação de uma rotação do filtro de discos rotativos a vácuo.

Figura 2.12 – Ciclo esquemático de filtração de discos rotativo a vácuo



Fonte: Adaptado de Guimarães (2011)

Com base na Figura 2.12 o princípio esquemático de operação do filtro de discos rotativos a vácuo:

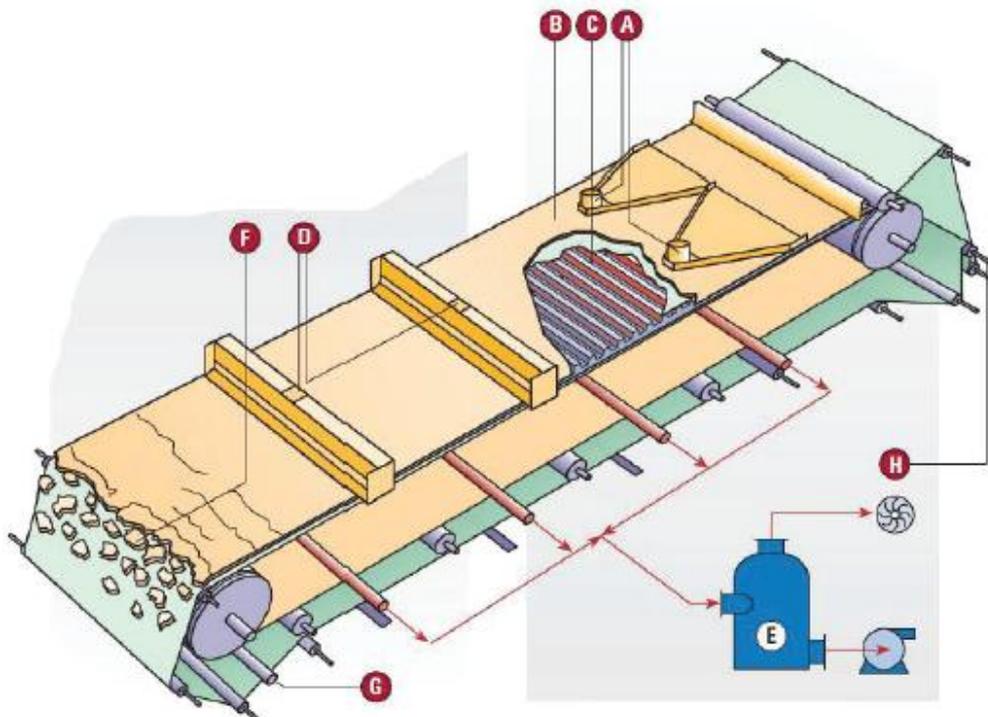
- a) alimentação da polpa;
- b) zona de formação da torta devido ao vácuo;
- c) zona de secagem da torta;
- d) zona de sopro (secagem) da torta por ar comprimido;
- e) descarga da torta para uma caixa;
- f) descarga do filtrado.

2.2.2.3 Filtro horizontal de correia

Os filtros horizontais de correia caracterizam-se pela alimentação direta da polpa sobre o meio filtrante (alimentação por cima) e pelo vácuo aplicado na sua parte inferior (no mesmo sentido da força gravitacional) (GUIMARÃES, 2011).

Na Figura 2.13 visualiza-se a montagem do filtro horizontal de correia

Figura 2.13 – Filtro horizontal de correia



Fonte: Adaptado de FLSmidth Minerals (2008)

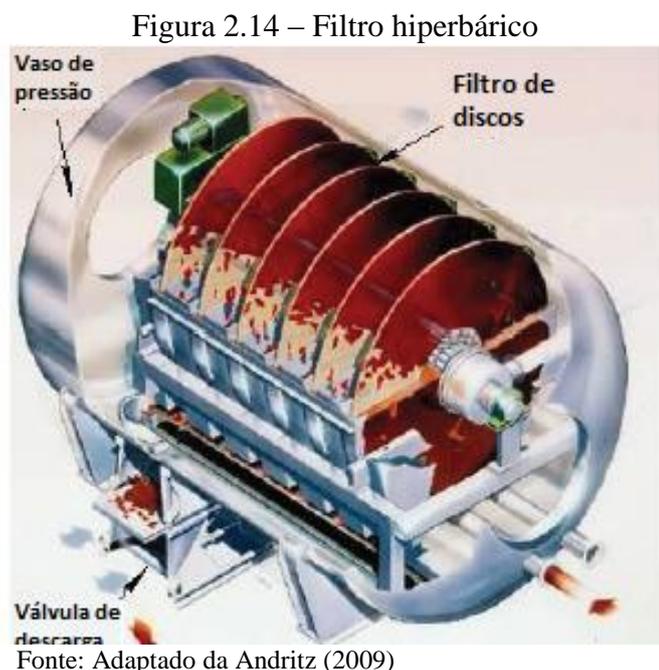
Formada a torta durante o contato cilindro-suspensão, segue a abaixo as operações ao longo de um ciclo de operação do filtro horizontal de correia:

- a) alimentação da polpa;
- b) elemento filtrante;
- c) correia de drenagem;
- d) lavagem da torta;
- e) vaso separador do sistema de vácuo;
- f) descarga da torta;
- g) sprays de lavagem do elemento filtrante;
- h) tencionamento da correia.

De acordo com Polonio (2009) os filtros horizontais de correia, consistem numa série de setores de filtração movendo-se continuamente em um circuito fechado, onde se realizam todas as etapas de filtração. O meio filtrante primário é composto por tecidos sustentados por partições perfuradas que podem ser correias em elastômero perfuradas. Permitem grandes variações de concentração e velocidades, que dependem das propriedades físicas da polpa (POLONIO, 2009).

2.2.3 Filtros hiperbáricos

São filtros que operam combinando pressão e vácuo. Neste equipamento o processo se caracteriza como sistema contínuo. A Figura 2.14 representa o desenho esquemático do o filtro de discos encapsulados ou hiperbáricos.



A tecnologia é baseada em filtro de discos convencional, a vácuo o qual é instalado dentro de um vaso de pressão que é preenchido com ar comprimido proveniente de um compressor. Esta tecnologia combina a aplicação simultânea de vácuo e pressão (GUIMARÃES, 2011). A pressão aplicada na operação pode chegar a 6 bar acima da pressão atmosférica. Para tanto os filtros são acondicionados em um vaso de pressão e opera hermeticamente. Um sistema de válvula e portinholas especiais possibilita a descarga da torta sem precisar abrir o equipamento.

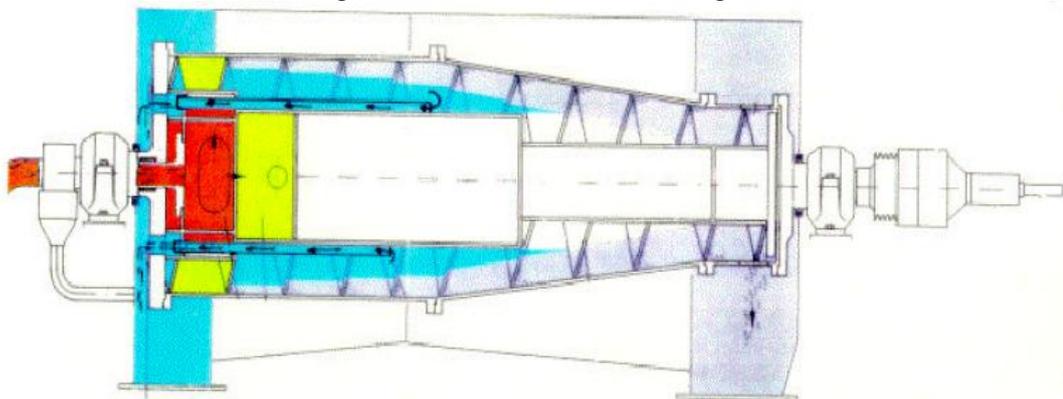
2.2.4 Filtros centrífugos

De acordo com David (2002) a operação envolve a aplicação de uma força centrífuga na mistura sólido-líquido promovida pela alta rotação do conjunto rotativo da máquina. Este processo poderá ser intermitente (batelada) ou contínuo. O processo de filtração é similar á decantação por gravidade, com a diferença de se usar, neste caso uma força centrífuga muitas vezes superior à força gravidade.

Segundo David (2002) a separação sólido-líquido é realizado dentro de um tambor rotativo cilíndrico, que cujas paredes internas a fase sólida é concentrada e removida continuamente por um raspador em forma de rosca. A parte sólida é recolhida em uma caixa e transferida para uma esteira transportadora.

Para melhorar a eficiência da separação entre fases, pode-se adicionar um polímero que facilite a agregação e conseqüentemente a sedimentação das partículas sólidas. Esse polímero deve ser devidamente selecionado pelo seu tipo e características específicas (DAVID, 2002). Na sequência ilustra-se na Figura 2.15 o decanter centrífugo.

Figura 2.15 – Decanter centrífugo



Fonte: Adaptado da Alfa Laval (2012)

2.2.5 Fatores que influenciam o processo de filtração

De acordo com Perry e Chilton (1980), França e Massarani (2004) e Massarani (2002) a Equação 1 é a equação fundamental da filtração, é utilizada amplamente no projeto e análise de desempenho de filtros.

$$\frac{dV}{A \cdot d\theta} = \frac{P}{\mu \left[\alpha \left(\frac{W}{A} \right) + r \right]} \quad (1)$$

Onde P é a queda de pressão no meio filtrante, A é a área da superfície filtrante, V é o volume de filtrado, θ é o tempo, α é a resistência específica média da torta, μ é a viscosidade do filtrado, W é a velocidade do filtrado e r é a resistência do meio filtrante.

Segundo Perry e Chilton (1980), Cheremisinof (1998), França e Massarani (2004), Wakeman e Tarleton (2005) e Sutherland (2008) os fatores que influenciam o processo de filtração são:

- a) viscosidade da polpa;
- b) temperatura da polpa;
- c) pressão de operação;
- d) lavagem da torta;
- e) espessura da torta;
- f) tamanho de partículas;
- g) meio filtrante;
- h) concentração de sólidos.

Na sequência são descritos os efeitos dessas variáveis no processo.

2.2.7.1 Viscosidade da polpa

A viscosidade da polpa a ser filtrada deve ser inversamente proporcional à razão da filtração. Em uma determinada fase líquida, a alta viscosidade pode ser reduzida diluindo-se com um solvente de baixa viscosidade, e conseqüentemente melhorando a velocidade de filtração (PERRY; CHILTON, 1980).

2.2.7.2 Temperatura da polpa

De acordo com Wakeman e Tarleton (2005) a velocidade de filtração de polpa é destacada pelo efeito da temperatura, principalmente relacionando-se com a viscosidade. De um modo geral, temperatura e viscosidade estão intimamente relacionadas nos trabalhos de filtração. Em grande parte dos líquidos, por exemplo, o aumento de temperatura provoca certo decréscimo da viscosidade dando maior eficiência à filtração.

2.2.7.3 Pressão de operação

A pressão é uma das variáveis mais importantes no processo de filtração, tanto nos filtros a pressão como nos a vácuo e hiperbáricos. Conforme a Equação 1, a mesma da algumas considerações sobre o efeito da pressão no processo.

Segundo Perry e Chilton (1980) quando a torta é composta de partícula granular dura, que a tornam rígida e incompressível, um aumento na pressão P não produz deformação das partículas ou de seus interstícios, sendo a compressibilidade $s = 0$. Assim desprezando a resistência do meio filtrante r tem-se a Equação 2.

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A \cdot P}{\mu \cdot \alpha' \left(\frac{W}{A}\right)} \quad (2)$$

Onde α' é a constante determinada pelo tamanho da partícula. No caso de tortas incompressíveis, a velocidade do fluxo é diretamente proporcional à área e à pressão, e inversamente proporcional à viscosidade, à quantidade total da torta (ou do filtrado) e α' .

Quando a torta consiste em partículas extremamente moles e facilmente deformáveis, sendo s muito próximo a 1, desprezando o meio filtrante, tem-se a Equação 3.

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A}{\mu \cdot \alpha' \left(\frac{W}{A}\right)} \quad (3)$$

Portanto, com tortas extremamente compressíveis, a velocidade independe da pressão. O efeito da pressão modifica a maior parte dos processos de filtrações industriais, nas quais a compressibilidade das tortas, usualmente entre 0,1 e 0,8 (PERRY; CHILTON, 1980).

2.2.7.4 Lavagem da torta

Cheremisinof (1998) afirma que a torta retida no leito filtrante, após a etapa de filtração, é lavada utilizando-se água nova ou outro líquido compatível com o sistema.

O objetivo desta operação é remover ou reduzir em nível desejado o volume de filtrado residual na torta.

A velocidade de lavagem da torta do filtro é inversamente proporcional a espessura da torta. Assim a eficiência de lavagem muitas vezes não é afetada pela espessura da torta, desde que esta esteja estável.

2.2.7.5 Espessura de torta

Segundo Sutherland (2008) as propriedades da torta dependem de inúmeros fatores de difícil quantificação, como da físico-química da suspensão sólido-líquido, da colmatação causada pela migração das partículas de pequenas dimensões através da torta.

A espessura da torta é de extrema importância no dimensionamento de um filtro e dela depende o ciclo de operação, pois a velocidade média de filtração, para uma dada quantidade de filtrado ou de torta, é inversamente proporcional ao quadrado da espessura da torta no final da filtração (FRANÇA; MASSARANI, 2004).

2.2.7.6 Tamanho de partículas da polpa

O controle do tamanho das partículas é de extrema importância na polpa de alimentação do filtro, pois seu efeito é significativo sobre as resistências da torta e do tecido do filtro. A redução do tamanho da partícula faz com que a velocidade de filtração diminua, aumentando a retenção de umidade na torta (PERRY; CHILTON, 1980). Porém, segundo Massarani (2002) em alguns casos leva a melhor eficiência de lavagem.

De acordo com Perry e Chilton (1980), para se evitar a redução de tamanho das partículas deve-se evitar a ação violenta da bomba e sua agitação. Em determinadas situações, nas quais a presença de partículas finas compromete sensivelmente a velocidade de filtração, utiliza-se pré-condicionamento da suspensão, através de tratamento químico, causando a floculação de partículas finas e formação de aglomerados, conseqüentemente viabilizando e facilitando a filtração (PERRY; CHILTON, 1980).

2.2.7.7 Meio filtrante

Conforme França e Massarani (2004) ao escolher o meio filtrante deve-se manter o compromisso entre a abertura do tecido e o tamanho da partícula, de modo que possa encontrar um tecido com abertura suficiente para evitar entupimentos e, concomitantemente, vazamentos excessivos de partículas finas.

Fazendo uma relação com a velocidade de filtração, o efeito do entupimento sobre ela é bastante considerável, que se torna usual a substituição do tecido. Além de justificar a utilização de um fator de segurança no cálculo da capacidade do filtro (MASSARANI, 2002).

2.2.7.8 Concentração de sólidos na polpa

Para Massarani (2002) o tempo necessário para depositar uma dada massa de sólido no interior do filtro varia inversamente com relação entre massa de sólidos e do filtrado.

Geralmente, para resultados com melhores taxas de filtração, principalmente para filtros a vácuo, utilizam-se suspensões com maiores concentrações de sólidos.

3 PROPOSTA DE TRABALHO

3.1 CENÁRIO ATUAL

Como foi comentado na seção 1.1, pode-se constatar a evolução do consumo de ácido tartárico no mundo, sendo os principais consumidores mundiais os Estados Unidos e a Europa. Os principais ramos da economia que alavancaram esse aumento do consumo de ácido tartárico são a indústria do vinho, alimentícia e farmacêutica.

A Veronese, com base nessa tendência mundial de aumento do consumo de ácido tartárico, vem estudando e modernizando seus processos. Atualmente o ácido tartárico é o produto mais rentável, sendo esse o principal motivo da Veronese estar aprimorando seus processos. Na sequência é descrito minuciosamente o problema de engenharia que será trabalhado.

3.1.1 Locomoção das placas

Nesse atual processo de filtração a locomoção das placas e marcos são realizados manualmente. Cada placa do filtro prensa pesa aproximadamente 75 kg. Neste equipamento o pacote de placas é constituído por 25 placas e 25 marcos. Cada marco pesa aproximadamente 34 kg, ou seja, por processo de filtração o operador move cerca de 2725 kg.

Depois de um dia de trabalho, com a realização de um total de 6 filtrações, o operador terá movido cerca de 16500 kg. A Figura 3.1 ilustra a placa do filtro de placas e marcos do atual equipamento.

Figura 3.1 – Placa



Fonte: Veronese (2012)

Na Figura 3.2 demonstra o atual filtro prensa de placas e marcos.

Figura 3.2 – Filtro prensa atual



Fonte: Veronese (2012)

3.1.2 Acionamento hidráulico

Uma das grandes ineficiências deste equipamento atual é no sistema de acionamento hidráulico, responsável pela pressão de fechamento das placas.

Esse sistema é composto por um cilindro hidráulico de 30 ton com acionamento manual. O operador leva um período de aproximadamente 5 minutos para realizar todo o processo de fechamento das placas. Esse processo de acionamento hidráulico consiste em:

- a) acionar o cilindro hidráulico com alavanca;
- b) colocar um pedaço de barra de aço redonda para completar o comprimento efetivo da haste do cilindro (como o comprimento da haste não é longo o suficiente e necessário aumentar);
- c) no mesmo momento que aciona manualmente o cilindro hidráulico é necessário com uma trava rosqueada, ir travando o pistão para evitar seu retorno.

Pode-se visualizar muito bem que o acionamento hidráulico atual é totalmente dependente da ação do operador. O operador não tem manômetro para o controle da pressão que está impondo às placas. Algumas vezes o sistema hidráulico não atinge a pressão máxima de fechamento e assim ocorrem vazamentos de polpa entre as placas e marcos.

Além disto, essa operação de acionamento hidráulico não é ergonômica. Pois como o acionamento é manual, existe uma série de movimentos repetidos (para cima e para baixo) da alavanca, tornando o processo cansativo.

Este sistema de acionamento hidráulico não sofre com paradas para manutenção, porém está muito avariado em virtude do tempo de trabalho que chega perto de 16 anos.

Abaixo a Figura 3.3 ilustra as vistas, lateral e frontal do sistema de acionamento hidráulico do filtro prensa atual.

Figura 3.3 – Sistema de acionamento hidráulico



Fonte: Veronese (2012)

3.1.3 Bandeja e rosca transportadora

Depois de aberto manualmente as placas do filtro prensa, o sulfato de cálcio cai por gravidade na bandeja e é transportado pela rosca principal até uma secundária. A Figura 3.4 demonstra ambas as roscas.

Figura 3.4 – Rosca transportadora principal e secundária respectivamente



Fonte: Veronese (2012)

A rosca secundária transporta a matéria sólida (sulfato de cálcio) até a caixa de descarte, conforme Figura 3.5.

Figura 3.5 – Caixa de descarte do sulfato de cálcio



Fonte: Veronese (2012)

Há inúmeras ocorrências de manutenção corretiva tanto na rosca principal quanto na secundária. Como o sulfato de cálcio é pesado, acaba ocorrendo quebra dos mancais de rolamento do eixo e do próprio eixo da rosca transportadora helicoidal.

O *Mean Time to Repair* (MTTR) ou Tempo Médio de Reparo da Máquina é cerca de 1 hora e 30 minutos. Porém o *Mean Time Between Failure* (MTBF) ou Tempo Médio Entre Falhas é bastante alto, é de aproximadamente 50 horas. A média mensal da disponibilidade desse equipamento é de 82 % do tempo de operação. Dentro do MTTR 25% dele tempo é para manutenção corretiva das roscas principal e secundária.

3.1.4 Ineficiências do processo

Além de todos estes problemas já relatados com o equipamento, há problema de processo. Atualmente é processado diariamente cerca de 15000 L de polpa, ou seja, mistura sólido-líquido. Neste volume processado, a perda em ácido tartárico fica na média de 25 g/L, implicando que a Veronese deixa de produzir cerca de 225 kg de ácido tartárico/dia.

Essa perda é identificada pelas análises químicas da torta (resíduo) do processo de filtração. A perda é proveniente de inúmeros fatores de difícil quantificação, mas pelo histórico da empresa, os principais são o reduzido tempo de lavagem da torta e sua secagem ineficiente. Atualmente a disponibilidade de operação efetiva da máquina é prejudica pelo

processo ser muito manual (demorado). Isso acaba diminuindo esses tempos de lavagem da torta e seu tempo de secagem, acarretando em perdas do processo.

3.1.5 Acionamento de bombas e válvulas

O operador gasta cerca de 30 minutos do tempo integral de trabalho em abertura/fechamento de válvulas manuais e acionamento de bombas. Esse tempo é gasto, pois as válvulas que são acionadas ficam longe do equipamento, e o operador precisa se deslocar, ausentando-se do local de trabalho. Além desse tempo gasto, a ergonomia também é prejudicada, pois existem válvulas que estão em locais de difícil acesso, prejudicando a postura do operador.

3.1.6 Vazão de ar de secagem

Para realizar o processo de secagem do sulfato de cálcio é utilizado ar comprimido.

O compressor é a pistão da marca Chiaperini modelo CJ 60 APW 425 L, motor de 15 CV, vazão volumétrica de 45 pcm (pés cúbicos por minuto) para uma pressão de trabalho de 6 bar. A utilização do ar comprimido é feito manualmente pela abertura de um registro de esfera através de uma tubulação na bitola de 1.1/2'' pol. O compressor demora cerca de 6 minutos para o enchimento segundo o catalogo do compressor Chiaperini (2008).

No processo esse tempo de enchimento é muito impactante, pois quando ele está utilizando o ar comprimido para secagem do sulfato é necessário interromper o processo para que o compressor consiga realizar o enchimento. Como esse tempo de processo de secagem é em torno de 30 minutos, cerca de 12 minutos é gasto para o enchimento do compressor.

3.1.7 Potenciais melhorias

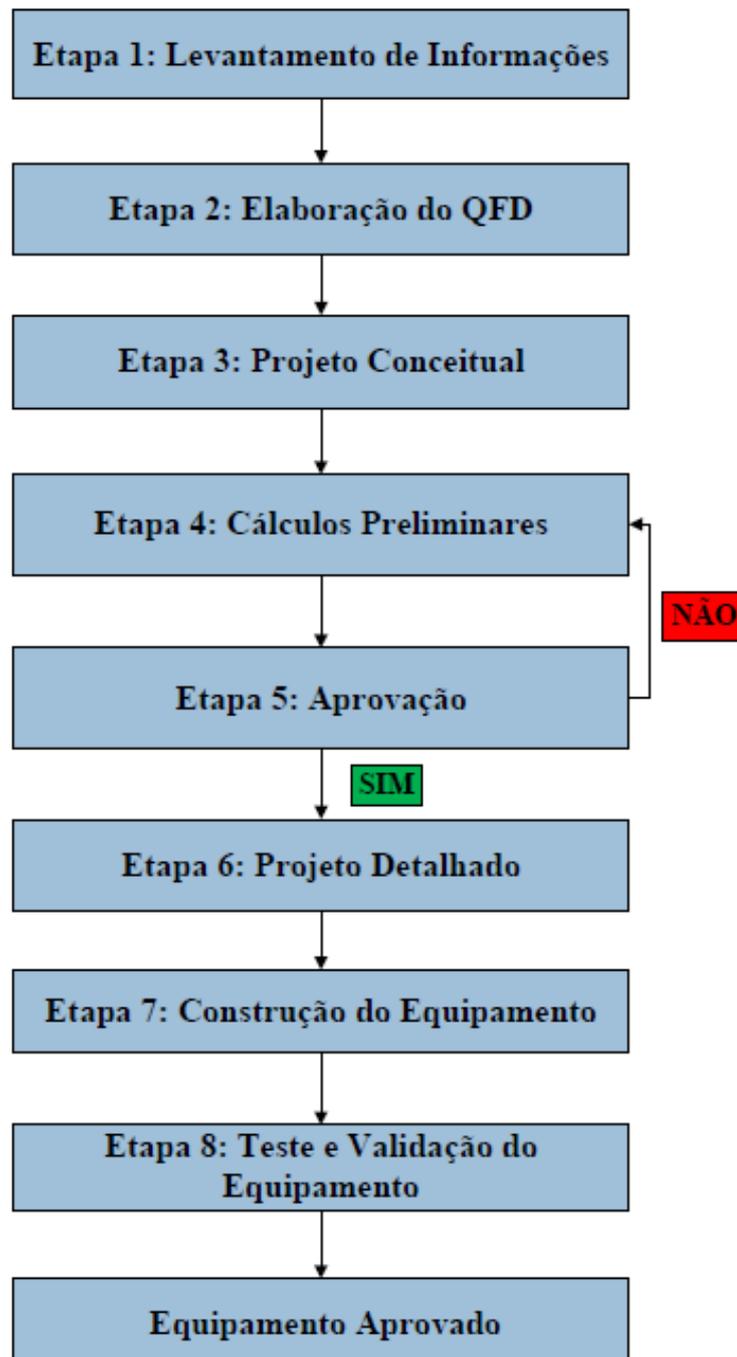
As potenciais melhorias foram analisadas e são descritas abaixo, em tópicos.

- a) automação da pressão de fechamento das placas e marcos;
- b) automação para abertura/fechamento das placas e marcos;
- c) simplificação do transporte do (resíduo) sulfato de cálcio;
- d) automatização do processo de acionamentos das bombas e válvulas,
- e) analisar as variáveis tempo de lavagem da torta e tempo de secagem da torta, afim de encontrar a melhor relação para o processo.

3.2 PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DO PLANO DE TRABALHO

As etapas desta proposta de trabalho seguem algumas premissas de Forcellini (2002), Pahl et. al. (2005) e Rozenfeld et. al. (2006). Com o propósito de estabelecer uma sistemática para o desenvolvimento do equipamento filtro prensa de placas e marcos, foi elaborado o fluxograma da Figura 3.1, que estrutura as fases de desenvolvimento desta proposta de trabalho.

Figura 3.6 – Fluxograma das etapas



Fonte: O Autor (2012)

3.2.1 Etapa 1: Levantamento de informações

Nesta primeira etapa devem-se levantar todas as informações possíveis, para que as próximas tarefas possam ser realizadas sem perder o foco dos objetivos, além de evitar futuras reformas ou adequações neste equipamento. Estas informações são chamadas de necessidades do cliente.

Nesta etapa é importante que se entenda exatamente o que o cliente espera como resultado final da máquina, neste caso o cliente é a própria Veronese. Para isso, neste levantamento de informações é importante:

- a) analisar as propriedades físico-químicas da polpa, do filtrado (material líquido) e da torta (material sólido);
- b) levantar dados de quantidade de polpa a ser processada, tempo de operação que o equipamento ira trabalhar, quantidade de operadores que podem operar o equipamento;
- c) verificar a área onde pode ser instalado o equipamento, para que não ocorram imprevistos durante a instalação;
- d) estipular alguns parâmetros do equipamento que podem influenciar na sua produtividade, como tempo de ciclo de filtração;
- e) levantar possíveis dados que surjam no decorrer do projeto.

Após o entendimento do resultado esperado pelo cliente e a tomada de informações, pode-se partir para a próxima etapa.

3.2.2 Etapa 2: Elaboração do QFD

Após o levantamento dos dados, se tem informações suficientes para realizar esta tarefa. O objetivo nesta etapa é elaborar o QFD, a fim de verificar quais os requisitos de projeto possuem um grau maior de importância.

Com isso é esperado que o foco do projeto não seja desviado, garantindo que se entregue um equipamento que satisfaça às necessidades.

Após a realização do QFD, são obtidos dados que definirão quais características do equipamento, devem ser priorizadas. Estes dados servirão de entrada para a próxima etapa, que deverá ser desenvolvida levando em conta esse resultado, evitando que ocorram desvios no projeto. Com o QFD definido, passa-se para a próxima fase.

3.2.3 Etapa 3: Projeto conceitual

Após a elaboração do QFD parte-se para a elaboração da Estrutura de Funções. Nesta etapa, o projeto conceitual do equipamento começou a ser desenvolvido. As atividades relacionam a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto.

Para isso foi elaborada a EF com a finalidade de tratar os problemas de forma generalizada, até um refinamento do filtro prensa de placas e marcos, sempre levando em conta os resultados obtidos no QFD.

Feito isso são adicionados os materiais, energias e sinais que são necessários para realização de cada tarefa. A aprovação da EF será definida entre os participantes do projeto, neste caso a manutenção e gerência da Veronese. Após definir-se a EF, pode-se seguir para a próxima etapa.

3.2.4 Etapa 4: Cálculos preliminares

Depois de definido o projeto conceitual do equipamento, ele deve ser avaliado nesta etapa. São avaliadas as cargas que atuarão na estrutura da máquina, assim como calculados e definidos todos os componentes utilizados no equipamento

Nesta etapa também deve haver a cotação e seleção dos fornecedores das matérias primas, insumos e componentes dos sistemas elétrico, hidráulico e pneumático. Nesta fase de cotação o setor administrativo juntamente com a manutenção deve fazer a escolha dos seus fornecedores.

Depois da seleção dos fornecedores, houve uma reunião com eles para a definição dos requisitos de projeto dos componentes que devem ser atendidas.

O equipamento será modelado no software SolidWorks®. Após a modelagem foi realizada uma análise de tensões de von Mises no aplicativo SimulationXpress.

3.2.5 Etapa 5: Aprovação

Depois de realizado os cálculos e análises preliminares, a próxima etapa é a aprovação do equipamento, juntamente com os setores da empresa.

Nesta etapa foram convidados para participar das reuniões de aprovação do equipamento os setores de manutenção, produção, laboratório (controle do processo) juntamente com a gerência da empresa.

Como a empresa é pequena e não tem um setor específico de Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT) o assunto também é discutido na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA).

Ainda nesta etapa, com a participação dos setores citados anteriormente, podem surgir novas informações que não foram consideradas até então. Se for de entendimento geral que esta sugestão provocar mudanças no projeto, de forma a melhor atender a essa nova realidade, esta ideia será implementada.

Aos finais de cada reunião, sempre houve uma ata onde são constatadas todas as alterações que são feitas, conforme comum acordo entre as partes.

3.2.6 Etapa 6: Projeto detalhado

Após a aprovação do projeto no estágio anterior, passa-se para a etapa de projeto detalhado.

Nesta etapa é desenvolvida toda a documentação necessária para que o equipamento possa ser produzido, instalado e operado.

Portanto, nessa fase é elaborado o *layout*, fluxograma do processo, detalhamento de cada item individualmente, entre outras tarefas.

Após o detalhamento das peças estarem prontos, é encaminhado os desenhos ao setor de manutenção e os fornecedores, onde os componentes serão montados.

3.2.7 Etapa 7: Construção do equipamento

Depois de realizado todo o detalhamento necessário para a fabricação do equipamento a próxima etapa é a própria fabricação e montagem. Os processos de manufatura realizados internamente na Veronese são os de corte térmico por plasma e solda por arco elétrico com eletrodo revestido.

A montagem da estrutura metálica foi feita pela Veronese, enquanto as dos sistemas elétrico, pneumático e hidráulico são realizados pelos fornecedores.

3.2.8 Etapa 8: Teste e validação do equipamento

Depois de realizado a montagem do filtro prensa, foi colocado o equipamento em *start up*. A validação do equipamento ocorreu seguindo a sequência abaixo:

a) adequação às normas de segurança:

- testar os mecanismos de segurança do equipamento;

b) testes de performance dos sistemas;

- testar os sistemas hidráulico, elétrico, pneumático e mecânico, inclusos no equipamento;

c) eficácia do processo:

- coletar a pressão de operação, vazão, entre outras variáveis;
- coletar amostra do sulfato de cálcio (material sólido) para determinar o percentual de riqueza tartárica, ou seja, a concentração de ácido tartárico (g/L) há no resíduo de descarte do processo de filtração;
- coletar amostra do LV 20 Be° (material líquido) para análise da sua riqueza tartárica;

d) eficiência do processo;

- coletar tempo de ciclo, tempo de limpeza das placas e tempo total de operação de em um período de trabalho.

Todos os requisitos de entrada do projeto devem ser atendidos e comparados com os dados obtidos durante os testes do equipamento.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo é apresentado o PDP do filtro prensa de placas e marcos. No decorrer das etapas, observa-se a evolução do projeto, passando-se por todas as oito etapas pré-definidas anteriormente, desde o levantamento de informações até os testes do equipamento pela Veronese. Também podem ser observados as três fases da etapa de PDP segundo Rozenfeld et al. (2006) que são denominadas Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado, na sequência do desenvolvimento.

4.1 ETAPA 1: LEVANTAMENTO DAS INFORMAÇÕES

Neste tópico apresentam-se os resultados obtidos nesta primeira etapa do projeto.

Para a realização desta etapa, foi realizada uma reunião, como forma de obtenção de informações, entre a diretoria e gerência da Veronese, juntamente com os setores de laboratório e manutenção. Este diálogo serviu para analisar e listar as necessidades dos clientes internos envolvidos no projeto.

4.1.1 Necessidade dos clientes

Durante o desenvolvimento dessa etapa, as necessidades dos clientes foram obtidas através de um diálogo direto com funcionários de alguns setores da Veronese. Desses, destacam-se a manutenção, a produção, o setor de compras, o laboratório inclusive o Diretor Geral. Através desses diálogos, realizados em forma de reuniões, foi possível realizar o levantamento das necessidades em relação à operação, instalação e manutenção do equipamento a ser desenvolvido.

No decorrer desse processo, ficou evidente a importância dada pela Veronese para que o equipamento não tivesse um custo elevado, que pudesse ser construído internamente, com pouca mão-de-obra e que realizasse o processo de filtração de forma satisfatória.

Como as necessidades foram expressas de forma aleatórias durante as reuniões, foi construída a Tabela 1, que segue na sequência aonde as solicitações foram reescritas para uma linguagem técnica e simplificada, para que sejam utilizadas na construção do QFD.

Depois de realizada a tabulação das necessidades, estas foram pontuadas, a partir do grau de importância para o projeto.

Tabela 1 – Necessidade dos clientes e peso

Designação para o QFD	Peso
Preço baixo	10
Equipamento com boa ergonomia	9
Fácil operação	9
Concentração de ácido tartárico na torta	10
Automação no acionamento das válvulas	9
Interface simples com o operador	8
Aumento da secagem da torta	9
Diminuição do tempo de fechamento/abertura das placas e marcos	9
Simplificação do transporte da torta	10
MTBF (Tempo médio de reparo da máquina)	8
MTTR (Tempo médio entre falhas)	8
Facilidade de obtenção de peças de reposição	6
Atendimento as normas regulamentadoras	8
Não haja acidentes com o operador	10
Atendimento da área disponível para a instalação	9
Baixo consumo de energia	6
Descarte da máquina após vida útil	6
Vida útil do equipamento	8
Utilização de materiais padronizados	7
Utilização de componentes com prazo de entrega curto	8
Tempo de fabricação	6

Fonte: O Autor (2013)

A pontuação foi elaborada da seguinte forma:

- a) **10 Pontos:** foi atribuído para preço baixo, qualidade do filtrado, simplificar o transporte da torta e não permitir que haja acidente com o operador, pois durante as reuniões essas necessidades eram constantemente reforçadas.
- b) **9 Pontos:** utilizado para outras necessidade que foram solicitados pela maior parte dos setores envolvidos.
- c) **8 Pontos:** atribuídos para necessidades que desempenha uma importância mediana dentre todas as listadas.
- d) **7 Pontos:** utilizado para necessidades com pequeno grau de importância.
- e) **6 Pontos:** utilizado para necessidades que não impedem o funcionamento do equipamento como reciclabilidade.

4.1.2 Requisitos do Projeto

Tendo-se as necessidades do cliente reescritas e tabulas, foram elaborados os requisitos de projeto, sendo estes baseados nas necessidades da Veronese. A Tabela 2 apresenta, além dos requisitos de projeto, uma breve descrição dos mesmos.

Tabela 2 – Requisitos de projeto e suas descrições

Requisito de Projeto	Descrição
Custo Total de Fabricação	Engloba, além do custo dos materiais e componentes, todos os outros custos da Veronese empregados na manufatura e instalação do equipamento.
Equipamento ergonômico	Trata-se da utilização do equipamento respeitando a capacidade física e psicológica do operador.
Operável por apenas um operador	Requisito no sentido de permitir que se trabalhe com apenas um operador para a operação do equipamento.
Concentração de ácido tartárico na torta	Trata-se na diminuição de ácido tartárico no resíduo final (torta).
Facilitar os acionamentos das válvulas	Requisito na determinação de automatizar o fechamento/abertura da válvulas que estão nos tanques de armazenamento da polpa e na rede de tubulação também.
Interface simples e ágil com o operador	Consiste na interação que o operador terá com o equipamento.
Aumentar a vazão de secagem da torta	Diretriz ressaltando a importância de aumentar a vazão de secagem da torta, para aumentar a remoção de ácido tartárico retido na torta.
Diminuir o tempo de fechamento/abertura das placas e marcos	Diretriz ressaltando a importância de simplificar e facilitar a locomoção das placas e marcos como também aumentar a pressão de fechamento do pacote de placas.
Facilitar o transporte da torta para o descarte	Trata-se da simplificação no transporte da torta para a caixa de descarte.
MTBF (Tempo médio de reparo da máquina)	Diretriz ressaltando a importância na fase de projeto, projetar um equipamento que tenha manutenibilidade ou seja que o tempo para realizar a manutenção seja o mais baixo possível.
MTTR (Tempo médio entre falhas)	Requisito no sentido de permitir que o equipamento seja confiável ao longo do tempo de operação ou seja que o equipamento tenha um maior tempo entre falhas.
Atendimento as NR's	Diretriz ressaltando a importância de adequar o equipamento nas Normas Regulamentadoras, exigidos pelo MET (Ministério do Trabalho e Emprego).
Não permitir que haja acidentes	Trata-se da segurança do equipamento, com o intuito de manter a integridade física e a saúde do operador.
Facilidade de obtenção de peças de reposição	A utilização de peças de reposição nacionais, facilitará em futuras manutenções do equipamento.
Área para instalação do equipamento	Será necessário ter as medidas da área a onde será instalado o equipamento, para que ele possa ser adequado na fase de projeto.
Consumo total de energia elétrica	Diretriz enfatizando o consumo energético do equipamento com responsabilidade.
Utilizar materiais recicláveis	A utilização de materiais recicláveis foi selecionada como alternativa mais viável ao descarte final do produto, reduzindo o impacto ambiental.
Vida útil do equipamento	Requisito ressaltando a vida útil que o equipamento deverá atender.
Utilização de materiais padronizados	Diretriz ressaltando a importância de materiais padronizados, para facilitar a compra dos componentes e também de materiais sobressalentes.
Utilizar componentes com prazo de entrega curto	Consiste na seleção de componentes que serão utilizados no equipamento, que tenha prazo de entrega curto, para não atrasar a montagem do equipamento.
Tempo para a fabricação e montagem	Trata-se de um direcionamento no sentido de reduzir o tempo de fabricação do equipamento, para que o mesmo seja entregue na data estipulada.

Fonte: O Autor (2013)

A partir da identificação e tradução das necessidades do cliente e da definição dos requisitos de projeto, têm-se dados suficientes para que se avance para a próxima fase, onde foi elaborado o QFD.

4.2 ETAPA 2: ELABORAÇÃO DO QFD

Como mencionado anteriormente, a elaboração do QFD ou Casa da Qualidade, tem como objetivo listar e identificar quais os requisitos de projeto é referência para o desenvolvimento do equipamento para que prosseguir sem que se desvie do foco do a ser atingido. Caso se consiga prosseguir o projeto dando a importância necessária a esses aspectos, as probabilidades do projeto atingir os objetivos no final do processo, são maiores.

Com isso espera-se que a qualidade do produto fique em patamares mais adequados possíveis, atendendo as expectativas da Veronese.

Tendo-se todas as necessidades elencadas e classificadas quanto ao seu grau de importância, e definindo-se os requisitos de projeto anteriormente, foi elaborado o QFD, que se encontra no Apêndice A. A elaboração do mesmo foi feito pelo autor deste trabalho juntamente com o supervisor de manutenção, supervisor de produção e laboratorista.

Devido à ocorrência de impasses no preenchimento de alguns campos do QFD, determinou-se que o valor a ser definido seria realizado a partir de um consenso entre as partes envolvidas na pontuação. Tendo os resultados do QFD no Apêndice A, observa-se o seguinte:

- a) confirmando o que se pensava até essa etapa, o custo total do equipamento e a concentração de ácido tartárico no sulfato de cálcio, foram classificados como primeiro e segundo colocados respectivamente, devendo-se dar ênfase as necessidades seguintes;
- b) como pode-se perceber a quantidade de torta processada e o tempo de fechamento e abertura das placas e marcos, estão classificados em terceiro e quarta colocação respectivamente;
- c) os requisitos referentes a tempo de reparo e interface simples com o operador ficou em posições intermediárias não se devendo dar prioridade elevada para essas características;
- d) requisitos como facilidade de obtenção de peças de reposição e componentes padronizados, ficaram em patamares inferiores quando comparados com itens diretamente relacionados com a produtividade do equipamento.

Com os resultados do QFD, elaborou-se a Tabela 3, que serviu de guia para elaboração das próximas fases.

Nesta tabela abaixo apresenta-se a classificação dos requisitos de projeto, assim como objetivos e especificações-meta, elaborados a partir do que foi solicitado nas reuniões realizadas.

Tabela 3 – Classificação dos requisitos e metas

Class.	Requisitos de projeto	Objetivos	Metas	Saídas indesejáveis
1°	Custo total de fabricação (R\$)	Minimizar o custo total de fabricação	Máx. 80.000 R\$	Inviabilizar a fabricação do equipamento.
2°	Concentração de ácido tartárico (g/L)	Diminuir a concentração de ácido tartárico na torta	Máx. 7 g/L	Continuação das perdas do processo.
3°	Quantidade de torta processada (kg/dia)	Transportar de forma eficiente o resíduo do processo. Max. 10000 kg/dia		Não atender o que foi solicitado pela empresa, acarretando transtorno no transporte da torta.
4°	Tempo de fechamento e abertura das placas e marcos (minutos)	Realizar no menor tempo possível o processo de fechamento e abertura da placas e marcos	Máx. 4 minutos	Aumento no tempo de ciclo do processo e decréscimo na ergonomia para o operador.
5°	Número de válvulas	Automatizar o fechamento e abertura da válvulas	Mín. 8 válvulas	Transtorno para o operador, aumentado o tempo de ciclo.
6°	Vazão de ar (pcm)	Aumentar a vazão de ar comprimido	Mín. 40 pcm	Aumento de perdas no processo.
7°	Tempo de vida útil (anos)	Vida útil do equipamento por volta de 10 anos		Não atender ao que foi solicitado pela empresa.
8°	Número de sistemas de segurança	Tornar o equipamento mais seguro	Mín. 2 sistemas	Ocorrência de acidentes.
9°	Consumo de energia elétrica (kWh)	Obter o equipamento com a menor consumo de energia	Máx. 20 kWh	Aumento do custo com energia elétrica.
10°	Tempo de reparo (horas)	Aumentar a manutenibilidade do equipamento	Máx. 1 hora	Diminuir a disponibilidade do equipamento para a produção.
11°	Interface simples com o operador	Permitir que o operador tenha facilidade de interação com o equipamento		Dificuldade do operador em operar o equipamento.
12°	Tempo de entrega dos componentes (dias)	Evitar que os componentes comprados atrasam a montagem do equipamento.	Máx. 45 dias	Aumento no tempo de entrega do equipamento.
13°	Atendimento as NR's	Maximizar a proteção da saúde e segurança do trabalhador	Atendimento das leis vigentes (NR-10, NR-12, e NR-26)	Ocorrência de acidentes com os trabalhadores ou interdição do equipamento pelo Ministério do Trabalho.
14°	Área para instalação	Atender a área disponível (Comprimento 15,10 m x Largura 3,15 m)	Máx. 47 m ²	Transtorno para a instalação do equipamento.
15°	Número de operadores	Permitir que o equipamento seja operável por apenas um operador		Necessidade de mais operadores.
16°	Tempo entre falhas (horas)	Garantir a confiabilidade do equipamento	Mín. 400 Horas	Aumento de manutenções corretivas não planejadas e perdas de produção.

Fonte: O Autor (2013)

Tabela 3 – (Continuação) Requisitos de projeto e suas descrições

17°	Equipamento ergonômico	Manter a integridades física e psicológica do operador	Atendimento das leis vigentes (NR-17)	Ocorrência de desconforto para o operador
18°	Utilizar materiais recicláveis	Aumentar a reciclabilidade do equipamento.	Mín. 80% do peso do equipamento em materiais recicláveis	Poluição ambiental
19°	Tempo para produzir a máquina (dias)	Entregar o equipamento no prazo estipulado	Máx. 60 dias	Atrasar a entrega do equipamento para a produção, assim perdendo tempo para a realização de testes
20°	Facilidade de obtenção de peças de reposição	Privilegiar fabricantes brasileiros	Min. 90% dos componentes do equipamento fabricados no Brasil	Importar componentes para reposição.
21°	Componentes padronizados	Maximizar o número de componentes padronizados no mercado	Mín. 50%	Aumento no tempo de manutenção e dificuldade em peças de reposição.

Fonte: O Autor (2013)

4.3 ETAPA 3: PROJETO CONCEITUAL

Nesta etapa foi definida a estrutura de função do filtro prensa para posteriormente elaborar a matriz morfológica na sequência listar as alternativas de projeto, escolhendo a que obtiver melhor pontuação.

4.3.1 Estrutura de função

A partir da classificação de quais requisitos de projeto são os mais importantes para que se alcance a qualidade nesse projeto, foi desenvolvida a Estrutura de Funções da máquina filtro prensa.

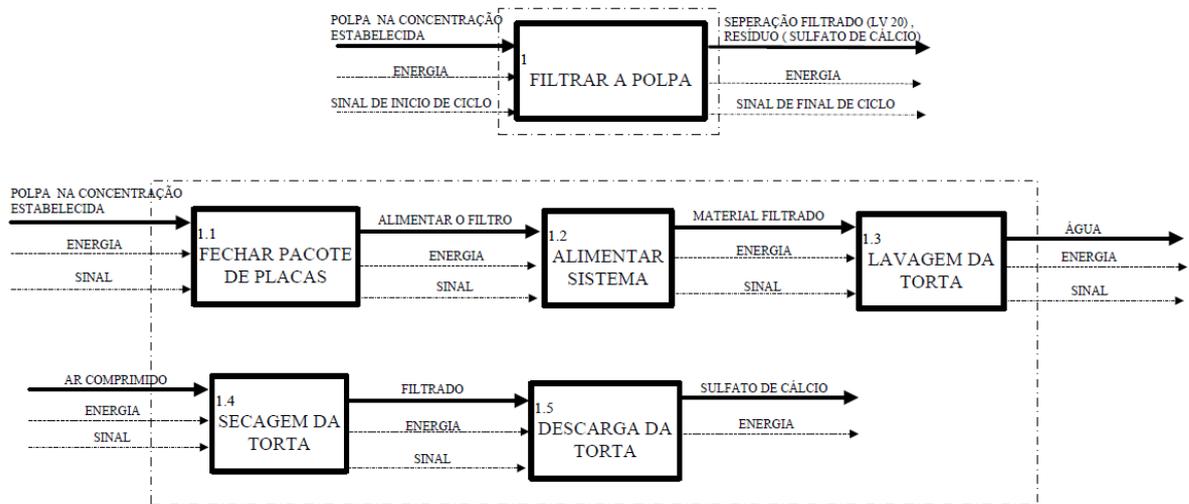
A mesma equipe que pontuou e desenvolveu o QFD, foram os responsáveis pelo desenvolvimento da estrutura de funções.

Esse desenvolvimento foi realizado a partir de reuniões para a discussão desse assunto.

Nessa etapa evitou-se relacionar as funções com um princípio de solução e que forma de energia seria utilizada, uma vez que isso foi determinado nas etapas subsequentes do desenvolvimento do dispositivo.

Após algumas discussões e da resolução de algumas divergências de como deveria ser o funcionamento do equipamento chegou-se na estrutura de funções, que é apresentada na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Estrutura de função do filtro prensa



Fonte: O Autor (2013)

A estrutura de função está dividida da seguinte forma:

1. Função Global (FG – Filtrar a polpa): a função global define o objetivo que o equipamento deve atingir.
2. Função Primária 1 (FP1 – Fechar pacote de placas): função primaria inicial onde o pacote de placas é fechado.
3. Função Primária 2 (FP2 – Alimentar sistema): depois de fechar o pacote de placas o interior do filtro prensa é preenchido com a polpa.
4. Função Primária 3 (FP3 – Lavagem da Torta): após o volume interno do filtro prensa estar totalmente preenchido de sulfato e necessário realizar a lavagem da torta.
5. Função Primária 4 (FP4 – Secagem da Torta): após a lavagem da torta e necessário realizar a secagem.
6. Função Primária 5 (FP5 – Descarga da Torta): após a secagem do sulfato de cálcio o resíduo final é descarregado e descartado.

Definida a estrutura funcional do dispositivo, passa-se para a etapa de desenvolvimento da matriz morfológica.

4.3.2 Desenvolvimento da matriz morfológica

Nesta etapa foi elaborada a matriz morfológica, que tem por objetivo listar princípios de solução que poderiam vir atender cada uma das funções previstas na etapa anterior.

Novamente nesta etapa, os mesmos setores da Veronese que pontuaram e desenvolveram o QFD, foram os responsáveis pelo desenvolvimento a partir de reuniões específicas para a discussão desse assunto.

Para que fossem listadas, os principais princípios de solução analisaram cada função individualmente, com base na experiência dos participantes e da aplicação do produto na empresa.

Após a reunião prevista para a discussão desse assunto, chegou-se no resultado apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Matriz morfológica do filtro prensa

Função	Descrição	Princípios de solução			
1.1	Fechar pacote de placas	Cilindro hidráulico (Manual)	Cilindro hidráulico (Eletro-mecânico)	Motoredutor e cabo de aço	*****
1.2	Alimentar sistema	Bomba centrífuga	Bomba helicoidal	Bomba diafragma	*****
1.3	Lavagem da torta	Bomba centrífuga	Bomba diafragma	*****	*****
1.4	Secagem da torta	Compressor de ar	Ventilador	Soprador de ar	*****
1.5	Descarga da torta	Gravidade	Eletromecânico	Hidráulico	Pneumático

Fonte: O Autor (2013)

Elaborada a matriz morfológica, passa-se para a próxima etapa.

4.3.3 Elaboração da matriz de decisão

Nesta etapa, a partir dos dados resultantes da matriz morfológica, geraram-se algumas alternativas de combinações de princípios de solução, para a conceitualização do filtro prensa como um todo.

Esses conceitos foram criados, para que posteriormente fossem comparados entre si, verificando-se qual seria o mais apto a atender os requisitos de projeto.

Porém, previamente ao desenvolvimento dessas combinações, realizou-se uma breve análise dos princípios de solução listados na matriz morfológica.

Após essa avaliação, foram criadas algumas alternativas de equipamentos, que estão apresentados na sequência, na Tabela 5.

Tabela 5 – Alternativas de projeto

Funções/meios	Proposta 1 (Manual)	Proposta 2 (Semi-automático)	Proposta 3 (Automático)
Fechar pacote de placas	Cilindro hidráulico (Manual)	Cilindro hidráulico (Eletro-hidráulico)	Cilindro hidráulico (Eletro-hidráulico)
Alimentar sistema	Bomba centrífuga	Bomba centrífuga	Bomba diafragma
Lavagem da torta	Bomba centrífuga	Bomba centrífuga	Bomba diafragma
Secagem da torta	Soprador de ar	Compressor de ar	Compressor de ar
Descarga da torta	Gravidade	Gravidade	Eletro-mecânico

Fonte: O Autor (2013)

Listadas as três alternativas, sendo elas uma proposta manual, semi-automática e automática as mesmas foram avaliadas e chegou-se no resultado apresentado na Tabela 6.

Nessa análise, dentre as três propostas a proposta 2 (semi-automatizada), foi que se apresentou mais indicada para que seja utilizada como base para as próximas etapas. Como pode ser observado.

Tabela 6 – Matriz de decisão do filtro prensa

Matriz de Decisão					
Especificações de projeto	Grau de relacionamento Requisito x Proposta 5 (+) - 3 (+/-) - 1 (-)	Peso (%)	Proposta 1 (Manual)	Proposta 2 (Semi-automática)	Proposta 3 (Automática)
		Custo (R\$)	11,16%	5	3
	Concentração de ácido tartárico (g/L)	6,66%	1	5	5
	Quantidade de torta processada (kg/dia)	6,53%	5	5	5
	Tempo de fechamento e abertura	6,27%	1	5	5
	Número de válvulas	6,01%	5	5	5
	Vazão de ar (pcm)	5,88%	5	3	1
	Tempo de vida útil (anos)	4,81%	1	3	5
	Número de sistemas de segurança	4,76%	1	5	5
	Consumo energético (kWh)	4,60%	5	3	1
	Tempo de reparo (horas)	4,55%	3	3	1
	Quadro de comando simples	4,47%	1	5	5
	Tempo de entrega dos componentes (dias)	4,31%	3	3	1
	Número de acidentes/ano	4,26%	1	5	5
	Área (m ²)	4,00%	1	5	5
	Número de operadores	3,76%	3	5	5
	Tempo entre falhas (horas)	3,48%	5	5	5
	Atendimento da NR 17	3,35%	5	5	5
	Quantidade de componentes recicláveis (%)	3,11%	5	5	1
	Tempo para produzir a máquina (dias)	3,03%	5	3	1
	Número de peças nacionais	2,88%	5	3	1
	Quantidade de componentes padronizados (%)	2,12%	5	5	3
	Pontuação		3,09	3,98	3,38
	Peso percentual (%)		29,56%	38,12%	32,32%

Fonte: O Autor (2013)

Definida a melhor proposta a ser trabalhada, a próxima etapa passa-se para os cálculos e seleção de componentes.

4.4 ETAPA 4: CÁLCULOS PRELIMINARES

Nesta etapa são apresentados os resultados obtidos durante a etapa de cálculos preliminares para o filtro prensa em questão.

Durante o desenvolvimento dessa etapa, verificou-se que não seria necessário o desenvolvimento de protótipos, uma vez que já se tinha domínio suficiente dos conceitos a serem utilizados no equipamento.

4.4.1 Dimensionamento e seleção dos componentes

Para o início do dimensionamento do filtro prensa, foi necessário conhecer as propriedades físico-químicas da polpa a ser processada, do filtrado (LV 20 °Be) e da torta (sulfato de cálcio). A Tabela 4 apresenta as principais propriedades dos materiais.

Tabela 7 – Propriedades da polpa, filtrado e sulfato de cálcio

Densidade média da polpa (kg/m ³)	1317
Densidade média do filtrado (kg/cm ³)	1161
Concentração de sólidos totais (%)	53
Viscosidade (cP)	198
Temperatura de trabalho (°C)	25
pH da solução	3
Volume total dos tanques de armazenamento (L)	15000
Tamanho médio da partícula (µm)	106

Fonte: O Autor (2013)

4.4.1.1 Placas e marcos

As placas que foram utilizadas nesse novo projeto são fabricadas conforme as que estavam sendo utilizadas no equipamento velho.

Os marcos que foram utilizados nesse novo projeto são os mesmo que estavam no equipamento velho.

A Tabela 4 visualiza as informações técnicas das placas e marcos.

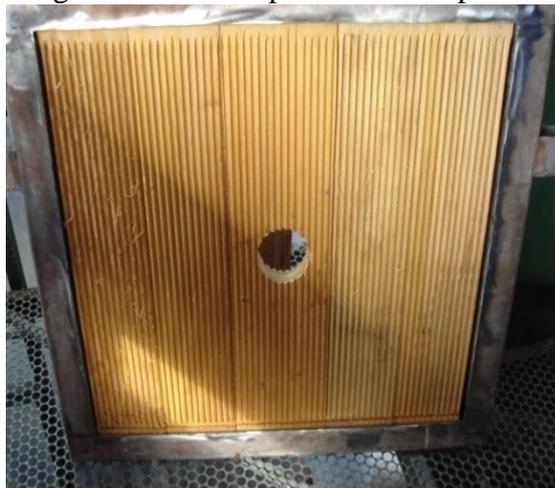
Tabela 8 – Dados das placas e marcos

Formato da placa (mm)	1000 x 900
Espessura da placa (mm)	55
Área da placa (m ²)	0,9
Diâmetro do furo da placa (mm)	75
Quantidades de placas	25
Quantidades de marcos	25
Espessura do marco (mm)	55
Área total de filtração (m ²)	45,00
Volume interno do filtro (L)	1237,50
Material do marco	AISI 316L
Material da estrutura da placa	AISI 316L
Material predominante da placa	Madeira de grápia

Fonte: O Autor (2013)

A Figura 4.2 visualiza a placa do novo equipamento.

Figura 4.2 – Nova placa do filtro prensa



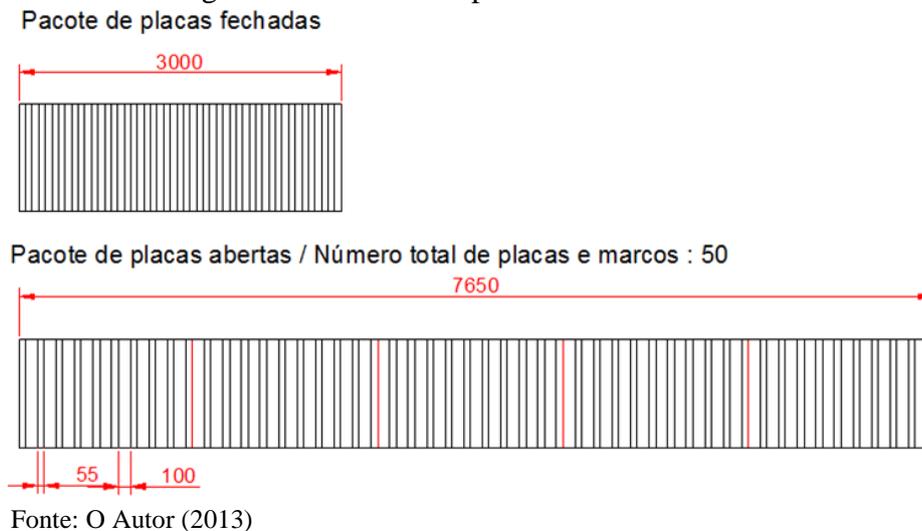
Fonte: O Autor (2013)

O comprimento efetivo do pacote de placas fechado considerando a utilização de 25 placas e 25 marcos é 3000 mm. A espessura da torta já é determinada pela largura do marco que é 55 mm, pois é nessa região que fica depositado o sulfato de cálcio. A extração do sulfato de cálcio ocorre por gravidade.

A medida de 100 mm entre placas marcos foi estimada para poder assegurar que toda torta que está presa no marco caia para a caixa de descarte. A abertura entre as placas e marcos foi estabelecida, o comprimento total do pacote de placas ficou com 7650 mm.

A Figura 4.3 visualiza o pacote de placas aberto e fechado.

Figura 4.3 – Pacote de placas fechado e aberto



Diante da determinação do comprimento de abertura do pacote de placas, foi possível determinar o curso que deve ser usado no dimensionamento do cilindro hidráulico principal.

A diferença entre o pacote de placas fechado e aberto é 4650 mm, porém o curso que foi usado no cálculo é de 5000 mm, sendo estabelecida uma medida de 350 mm de folga por segurança, pois é necessário fixar o cilindro hidráulico na cabeça móvel.

4.4.1.2 Bomba centrífuga

A bomba centrífuga deve atender a dois requisitos, o primeiro que o material da bomba deve ser em aço inoxidável e o segundo que sua pressão de operação fique em torno de 3 kg/cm², pois é a consideração que Perry e Chilton (1980) citam em sua obra e também por experiência da empresa em utilização desse tipo de bomba no processo.

Diante disso foi consultado o catálogo da Schneider MotoBombas, modelo MCI-RQ em aço inox AISI 316L. Posteriormente foi traçado uma linha na pressão de 3 kg/cm² até que interceptasse a curva de vazão x pressão, onde foi interceptado uma bomba de 5 cv com vazão de 12 m³/h, motor trifásico 380 V, 60 Hz, 2 pólos (3730 RPM). No Anexo C é apresentado à seleção da bomba.

4.4.1.3 Compressor de parafusos

Um dos problemas observados no processo anterior era a falta de vazão de ar para a secagem da torta, pois isso acarretava em aumento de tempo de processo e baixa eficiência na retirada de líquido vermelho residual no sulfato de cálcio.

Diante disso foi conversado com o Supervisor e Diretor Geral da empresa sobre a viabilidade de compra de um novo compressor. Com base nos valores demonstrados a gerência, aprovou a compra do compressor.

O compressor anterior era a pistão da marca Chiaperini modelo CJ 60 APW 425 L, motor de acionamento de 15 cv com vazão volumétrica de 45 pcm (pés cúbicos por minuto) para uma pressão de trabalho de 6 bar.

O modelo adquirido tem a mesma potência de acionamento de 15 cv, porém com vazão volumétrica de 70 pcm para uma pressão de operação de 6 bar e seu consumo energético 30% menor segundo o fabricante Schulz (2013). Na Figura 4.4 visualiza o compressor de parafusos da marca Schulz.

Figura 4.4 – Compressor de parafuso



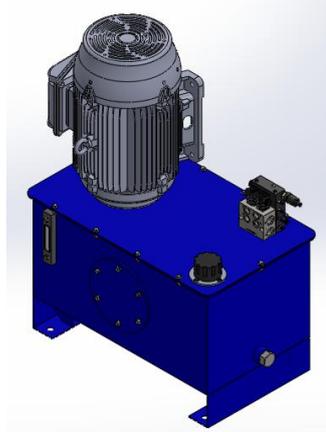
Fonte: Veronese (2013)

O compressor antigo ficou como *back-up*, para quando houver alguma manutenção do compressor de parafuso.

4.4.1.4 Unidade hidráulica

A unidade hidráulica foi fornecida pela Hydromek comércio de equipamentos hidráulicos. A bomba de engrenagem fornecida junto com a unidade hidráulica é da marca Hybel, série Aluminibeta S11, com deslocamento de 8 cm³/rot, pressão máxima contínua de 260 bar. O motor incluso na unidade é da marca WEG potência de 5 cv, 4 pólos (1740 RPM) sendo a vazão da bomba de engrenagem de 13,92 L/min. A Figura 4.5 visualiza o desenho em CAD da unidade hidráulica

Figura 4.5 – Unidade hidráulica



Fonte: O Autor (2013)

4.4.1.5 Cilindros hidráulicos

Para o dimensionamento do cilindro principal foi considerado o critério de flambagem. O curso do cilindro (L) deve ter $L = 5000$ mm conforme descrito na seção 4.4.1.1. A força total (F_T) foi determinada pela Equação 4 onde a aceleração da gravidade (g) e a força do ar comprimido ($F_{ar,compr.}$) oriundo pela pressão do ar obtido pelo compressor de parafuso.

$$F_T = (m_{placas} + m_{cabe\ ca,movel} + m_{sulfato} + m_{marcos}) \cdot g + F_{ar,compr.} \quad (4)$$

A massa total das placas e marcos é de 2725 kg, Como foi determinado a densidade da polpa, $\rho_{sulfato} = 1317 \text{ kg/m}^3$, volume interno do filtro, $V_{Filtro} = 1,237 \text{ m}^3$, através disso a massa de sulfato de cálcio foi determinado pela Equação 5.

$$m = \rho_{Sulfato\ de\ cálcio} \cdot V_{Filtro} = 1317 \cdot 1,237 = 1629,129 \text{ kg} \quad (5)$$

A força do ar comprimido ($F_{ar,compr.}$) é determinado pela Equação 6.

$$F_{ar,compr.} = P_{ar,compri} \cdot A_{placas} = 55000 \cdot 0,9 = 540000 \text{ N} \quad (6)$$

Porém devemos corrigir essa força que atua em todas as placas do filtro prensa determinado pela Equação 7.

$$F_{ar,compri.} = \frac{540000}{24} = 22500 \text{ N} \quad (7)$$

Depois de calculado a força do ar comprimido pode ser calculada a força total pela Equação 8.

$$F_T = (4454,13) \cdot 9,81 + 22500 = 66195 \text{ N} \quad (8)$$

O cálculo do diâmetro da haste (d_h) segundo Linsingen (2003) leva em consideração o fator de segurança 3,5 que já está inclusivo na Equação (9). Na própria equação leva-se em consideração o comprimento livre de flambagem (c) é do módulo de elasticidade (E_m). Na Figura 4.6 visualiza o tipo de carga pelo tipo de comprimento livre de flambagem.

$$d_h = \left(\frac{7,22 F_T c^2}{E_m} \right)^{0,25} \quad (9)$$

Figura 4.6 – Comprimento livre de flambagem conforme tipo de montagem

Tipo de carga	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
	Uma extremidade livre e a outra fixa	Duas extremidades articuladas	Uma extremidade articulada e a outra fixa	Duas extremidades fixas
Representação gráfica				
Comprimento livre de flambagem	$c = 2L$	$c = L$	$c = L \sqrt{1/2}$	$c = L / 2$

Fonte: Adaptado de Linsingen (2003)

O cilindro é articulado (pino) em uma extremidade e na outra fixada através de flange por parafuso, portanto o comprimento efetivo que foi utilizado no calculo é o caso 3.

O material utilizado na haste é aço, $E_m = 200 \text{ GPa}$, o comprimento livre de flambagem tem uma extremidade fixada por junta parafusa e outra articulada por pino, sendo assim o caso 3 usado como critério, $c = 5000 \cdot \sqrt{\frac{1}{2}} = 3535,53 \text{ mm}$.

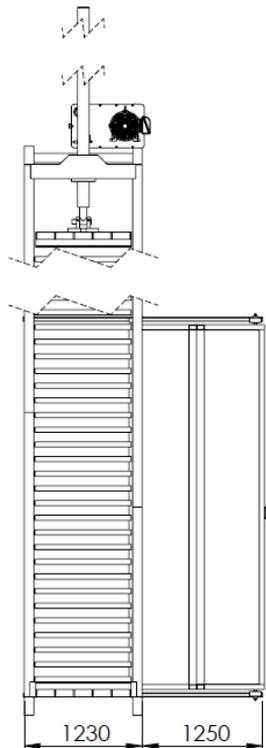
Por o fim diâmetro da haste do cilindro hidráulico principal é determinado pela Equação 10.

$$d_h = \left(\frac{7,22 \cdot (66195) \cdot (3,535)^2}{200 \cdot 10^9} \right)^{0,25} = 73,92 \text{ mm} \cong 3'' \text{ pol} \quad (10)$$

O diâmetro da haste calculado resultou em 73,92 mm, como o mesmo foi comprado pela Marpi Hidráulicos, empresa que fabricou o cilindro, o valor foi ajustado para 3 polegadas para poder ser encontrado no mercado.

O cilindro hidráulico secundário foi dimensionado levando em consideração o deslocamento que a caixa coletora deveria afastar quando fosse descarregar o sulfato de cálcio diretamente na caixa de descarte. A caixa coletora ira afastar posteriormente ao término de secagem do sulfato de cálcio, assim sua função no equipamento é coletar o LV 20 quando ocorrer à separação do líquido vermelho do sulfato de cálcio. Depois de utilizado o mesmo método para o cálculo do cilindro principal, chegou-se ao diâmetro de 1.1/4". O curso utilizado no cálculo foi de 1230 mm conforme Figura 4.7, adotado para garantia que todo o líquido caia dentro da caixa coletora deixando uma sobra de 10 mm de cada lado.

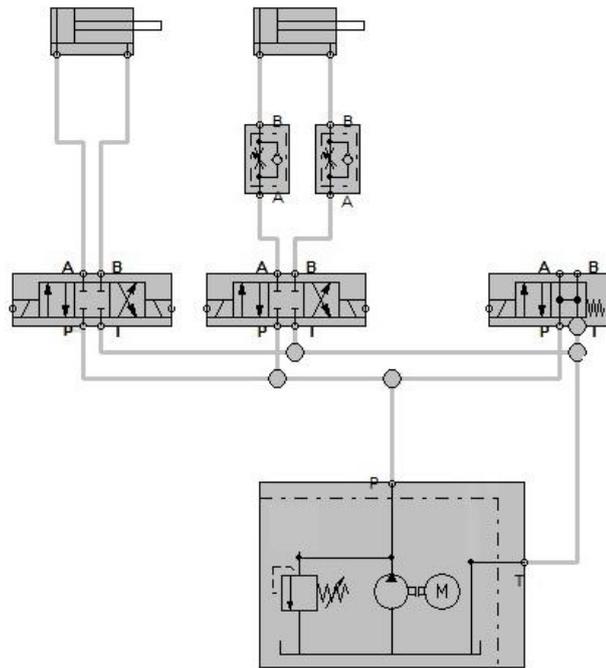
Figura 4.7 – Vista superior do filtro prensa



Fonte: O Autor (2013)

Posteriormente ao dimensionamento dos cilindros hidráulicos, em parceria com as empresas Marpi Hidráulicos e Hydromek, foi elaborado o diagrama hidráulico utilizado no projeto. A Figura 4.8 visualiza o diagrama hidráulico.

Figura 4.8 – Diagrama hidráulico



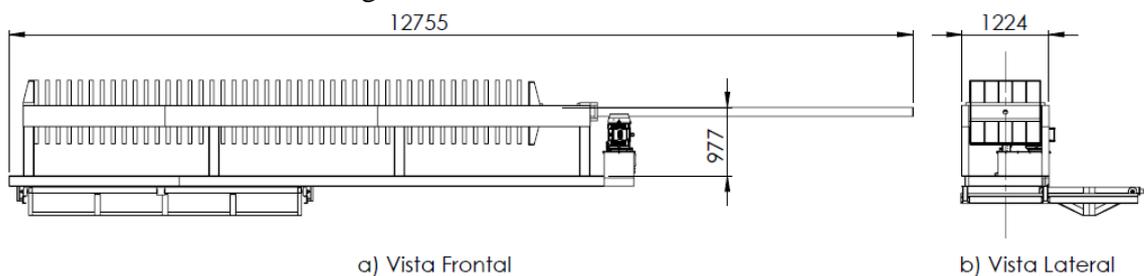
Fonte: O Autor (2013)

4.4.1.6 Estrutura

Estando todos os componentes a serem utilizados no equipamento dimensionados, a estrutura do equipamento foi modelada de forma que todos esses pudessem ser posicionados, e também de forma a atender todas as solicitações da Veronese referentes à área de instalação do equipamento. Verifica-se na Tabela 3 que dentre as dimensões máximas da área, o comprimento total não poderia superar os 15 m, o que o inviabilizaria a instalação do mesmo.

O conceito estrutural adotado foi do tipo *sidebar*, onde as placas estão suspensas sob vigas laterais tendo seu fechamento por compressão. Foi utilizado esse conceito, pois para a verificação de limpeza interna das placas e marcos ficava mais simples quando for efetuado pelo operador. Havendo o atendimento das solicitações, a estrutura foi modelada, chegando ao modelo apresentado na Figura 4.9a e 4.9 b.

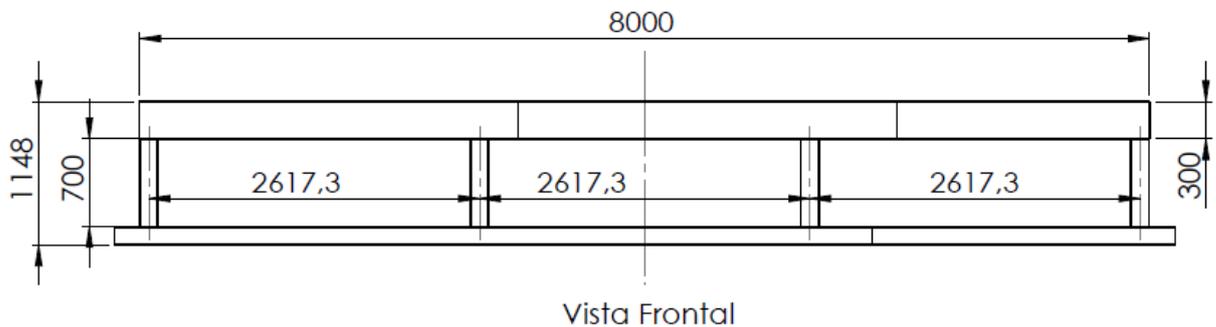
Figura 4.9 – Dimensões da estrutura



Fonte: O Autor (2013)

Depois do modelamento da estrutura no SolidWorks a mesma foi analisada no *SimulationXpress* através do FEM (Método de Elementos Finitos). A viga é um tubo retangular com dimensões (300 mm x 100 mm x 6,30 mm). Por fim o material utilizado foi um ASTM A36, que possui uma tensão de escoamento (σ_e) de 250 MPa e tensão de ruptura (σ_r) de 400 MPa, dados oriundos do certificado de qualidade fornecido pela Aço plano. Na Figura 4.10 visualiza a dimensões da viga.

Figura 4.10 – Dimensão do conjunto da estrutura



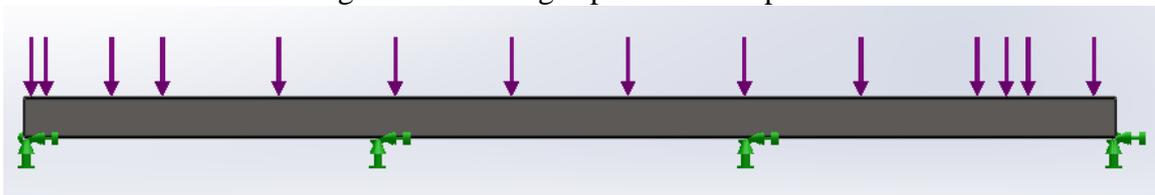
Fonte: O Autor (2013)

Para a análise estrutural foram estabelecidas algumas condições de contorno:

- a) a massa total foi distribuída sobre duas vigas, portanto 1362,5 kg/viga;
- b) a viga é simplesmente apoiada em quatro colunas;
- c) a carga aplicada é uma força normal de 13,36 kN distribuída sobre a viga;
- d) a malha utilizada é do tipo malha sólida.

Depois das condições atendidas, foi realizado a análise estrutural conforme e visualizado na Figura 4.11.

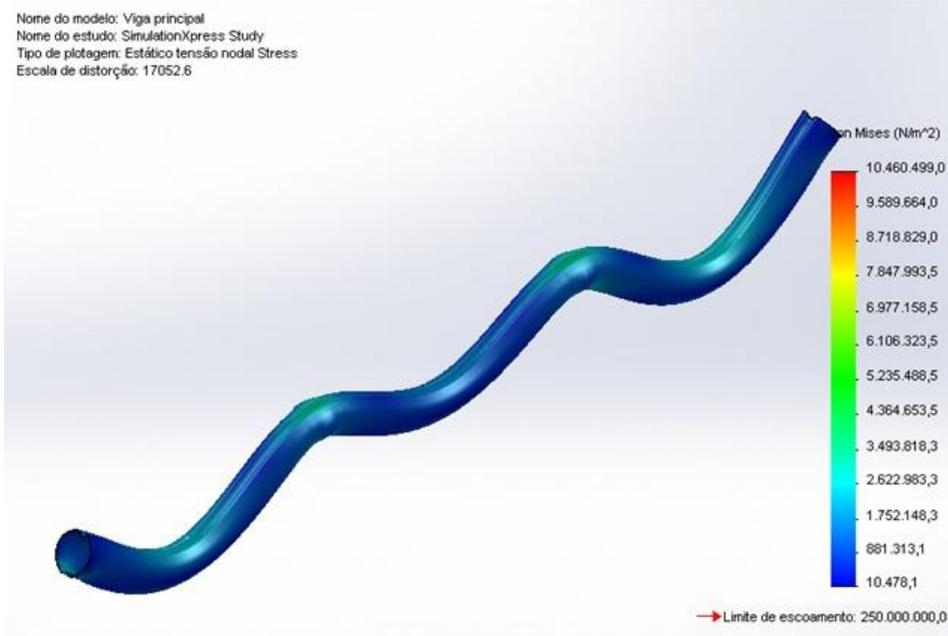
Figura 4.11 – Carga aplicada e os apoios



Fonte: O Autor (2013)

Depois de realizado a análise chegou-se na Figura 4.12 que apresenta as tensões de von Mises na viga.

Figura 4.12 – Tensões de von Mises na viga principal



Fonte: O Autor (2013)

A máxima tensão de von Mises encontrada na simulação foi $\sigma_{Max} = 10,46 \text{ MPa}$ no nó 10301. O fator de segurança (S) é calculado pela Equação 11 que segue abaixo.

$$S = \frac{\sigma_e}{\sigma_{Max}} = \frac{250}{10,46} = 23,90 \quad (11)$$

Como foi verificado a viga ficou com uma fator de segurança de 23,90, estando essa adequada para a solicitação. Outro aspecto importante em relação às estruturas metálicas, foi o revestimento das partes internas que estarão em contato com o produto.

O material do revestimento utilizado foi chapa de aço inox AISI 316L para aumentar a vida útil do equipamento. A espessura do revestimento ficou com uma espessura de 2 mm.

4.4.1.7 Corrente de elos

A massa total das placas, marcos e massa do resíduo são de aproximadamente 4354 kg. Como essa massa é dividida em dois módulos, a carga por corrente (m_c) é de 2177 kg.

Analisando-se o catálogo da RUD (2013), referente à corrente de elos conforme a norma EN818-2 Grau 8, quando uma corrente é utilizada com um ramal trabalhando em 90° , a primeira bitola que poder ser utilizada é a de diâmetro nominal 10 mm, que possui capacidade de 3200 kg. A seleção junto ao catálogo do fornecedor e apresentada no Anexo B.

4.4.1.7 Tecidos de filtração

Diante das análises realizadas no laboratório da empresa, foram obtidos dados importante da polpa como a granulometria, pH e pressão de operação. Para isso foi solicitado pela Veronese que atendesse pelo menos quatro necessidades muito importantes para a seleção do tecido de filtração. A importância de uma boa seleção do tecido de filtração é que este não sendo bem selecionado pode ocorrer perdas de processo e também impactando em manutenção. Os critérios que devem ser atendidos para seleção do tecido de filtração são:

- a) Filtrabilidade, granulometria do tecido deve ser menor que 106 μm ;
- b) Temperatura de trabalho, mínimo de 40 $^{\circ}\text{C}$;
- c) Resistência a corrosão, trabalhar em todas as faixas de pH 0 a 14;
- d) Pressão de trabalho, maior que 3 kg/cm^2 .

Após o entendimento dos critérios para seleção do tecido, foi consultado o catálogo da Renner Têxtil. O material indicado pelo fornecedor foi o tecido em polipropileno (PP), resistente a faixa de pH de 0 a 14, temperatura de trabalho 90 $^{\circ}\text{C}$ e pressão de trabalho de 5 kg/cm^2 . A Figura 4.13 demonstra a placa revestida pelo tecido de filtração.

Figura 4.13 – Placa revestida pelo tecido de filtração



Fonte: O Autor (2013)

4.4.1.8 Atuadores pneumáticos e Painel elétrico

Com o intuito de diminuir o tempo de 30 minutos descritos no item 3.1.5, onde o operador perde esse tempo para realizar os acionamentos das válvulas de esfera manuais, foi selecionado o atuador pneumático acionado por solenóide.

A seleção do atuador pneumático obedeceu quatro quesitos:

- a) que o atuador pneumático seja de simples ação com retorno por mola;
- b) que trabalhasse com pressão de 6 bar que é a pressão da rede de ar comprimido da Veronese;
- c) que fosse da mesma bitola da sucção e do recalque da bomba centrífuga que é 1.1/2” respectivamente, onde não necessita-se fazer reduções e adaptações assim acarretando em perda de carga;
- d) que as partes de contato interna da atuador pneumático que iram ter com o fluido sejam em material inoxidável.

O atuador pneumático selecionado é do tamanho de 40 mm, modelo S06, com pressão de operação de 6 bar, onde é visualizado no Anexo A. A válvula solenóide que foi solicitada junto com o atuador pneumático e da marca Namur, modelo 3/2 vias com tensão de acionamento da bobina 220 V.

Depois de selecionado os atuadores pneumáticos, válvulas solenóides foi realizado a automação elétrica, onde foi contratado uma empresa terceirizada para realizar este trabalho.

Neste projeto foi requerido pela Veronese que o painel elétrico fosse simples é que pudesse visualizar o fluxograma do processo de maneira organizada, com isso facilitando a interação com o operador.

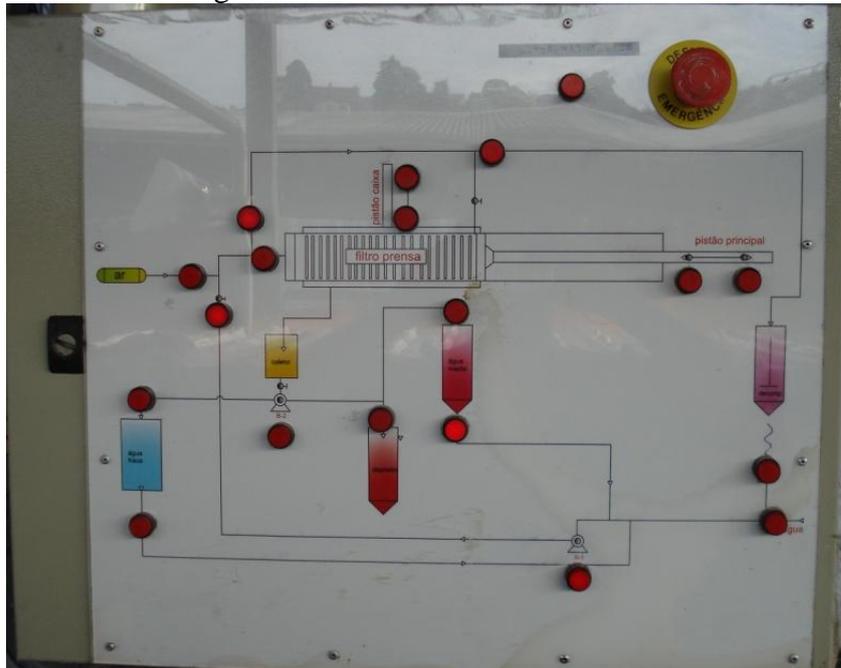
Diante disso a empresa terceirizada apresentou uma solução utilizando conceito sinótico, frequentemente utilizado na indústria química, a onde mostra um painel com o fluxograma do processo de maneira lógica e organizada com seus respectivos acionamentos.

O quadro elétrico adotado foi da marca Cemar, código 90.21.32 (480 mm x 600 mm 170 mm), com chapa em policarbonato com fluxograma do processo.

O painel atende a Norma NBR IEC 60529 - Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos, IP 55 (protegido contra jatos de água). O painel também atende as normas NR 10 e NR 12.

Os itens atendidos em ambas as normas são botoeira de emergência, chave geral, aterramento, comando bi-manual (fechamento e abertura dos cilindros tanto principal como secundário), botoeiras com tensão de 25 V e sinalização por pessoas autorizadas. A Figura 4.14 demonstra o painel elétrico tipo sinótico.

Figura 4.14 – Painel elétrico sinótico



Fonte: O Autor (2013)

4.5 ETAPA 5: APROVAÇÃO

Estando o filtro prensa dimensionado e modelado, foi realizado novamente uma reunião com os participantes do projeto na Veronese juntamente com o Diretor Geral, a fim de se fazer uma avaliação do equipamento.

Durante a reunião foi explicado para o Diretor da empresa o funcionamento do equipamento.

Ainda durante a apresentação do projeto, surgiu uma questão referente a botões de emergência. Como inicialmente estava previsto, apenas um desses componentes de segurança no equipamento, que ficaria instalado juntamente no quadro elétrico, se achou necessário colocar outro desse componente no início do equipamento.

O argumento utilizado pelo Supervisor e o Diretor para essa solicitação foi o fato de a distância entre o início do equipamento até o quadro seria grande e poderia dificultar a visualização de algum risco pelo operador do filtro prensa.

Foi solicitado que todo o dispositivo fosse pintado na cor verde epóxi para uma melhor resistência à corrosão, pois essa cor é padrão da empresa.

Também foi solicitado que fossem realizados guarda-corpos ao redor do equipamento e essa solicitação não tinha sido contemplada na fase de projeto

Outra solicitação da Diretoria que fosse melhorado a iluminação interna a onde seria instalado o equipamento, visando melhorar a segurança na operação do filtro prensa. Portanto foram instaladas mais algumas luminárias no pavilhão.

Como as mudanças e acréscimos solicitados não impactariam efetivamente em nenhum aspecto para a Veronese, essas solicitações foram acatadas impactando em um custo muito baixo. Também não foi necessário retornar as etapas do desenvolvimento, pois as mudanças não implicariam em alterações conceituais no mesmo.

Por fim, após essas alterações, o projeto estava pronto para ser enviado para a próxima etapa.

4.6 ETAPA 6: PROJETO DETALHADO

Estando o projeto aprovado pela Veronese, realizaram-se as alterações necessárias no modelo, para que o mesmo pudesse ser encaminhado para fabricação. Portanto nesta etapa, foram criados a lista de materiais, os manuais de operação e instalação e o detalhamento individual de cada peça utilizada no equipamento. Ressalta-se que o detalhamento dos desenhos individuais é realizado no formato da própria Veronese.

Para ilustrar o desenvolvimento desta etapa, no Apêndice B, é apresentado o detalhamento da montagem do filtro prensa.

4.7 ETAPA 7: CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

Após a elaboração do projeto detalhado, foi realizada a etapa de construção e montagem do equipamento. Esta etapa ocorreu na própria dependência da Veronese.

Primeiramente foi realizado o processo de soldagem da estrutura do filtro prensa por eletrodo revestido pela manutenção da Veronese, sendo esse o único processo realizado pela mesma. Posteriormente a etapa de soldagem ocorreu a montagem da estrutura do filtro prensa, a mesma foi instalada na área destinada, para isso foi utilizado um guincho para efetuar a colocação.

Para a instalação do novo equipamento, o processo de filtração não foi afetado, ou seja, a produção não sofreu paradas para a construção do equipamento, pois, existia a preocupação em não afetar a produção. Enquanto era produzindo o equipamento nas dependências da empresa, o equipamento antigo continuou operando.

Logo após a instalação da estrutura metálica na área destinada, ocorreu as instalações hidráulicas, pneumática e elétricas. A instalação hidráulica dos cilindros, unidade foram realizadas pela Hydromek.

Já a automação elétrica foi realizada por empresa terceirizada. A instalação do compressor de ar de parafusos, juntamente com toda a automação pneumática foi realizada em parceria com empresa terceirizada.

Houve alguns contra tempos na realização da montagem do filtro prensa. A entrega da unidade hidráulica acabou levando 35 dias após a confirmação do pedido pela Veronese, assim o tempo total de fabricação que inicialmente tinha sido estabelecido em 60 dias acabou ficando com 63 dias, devido a esse atraso.

Os contra tempos do projeto ficaram dentro do estabelecidos, alguns ajuste em desenho e montagem, mas tudo ficando dentro do que tinha sido proposto.

Depois de realizado esta etapa de construção do equipamento, na sequência foram descritos os testes e resultados obtidos com o novo equipamento.

4.8 ETAPA 8: TESTE E VALIDAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Na própria dependência da Veronese, após o dispositivo estar montado, realizou-se o teste no equipamento.

Primeiramente testou-se os sistemas de segurança do equipamento, comandos bi-manual do cilindro hidráulico principal e secundário, botoeira de emergência e geral do quadro de comando e os mesmos estavam de acordo.

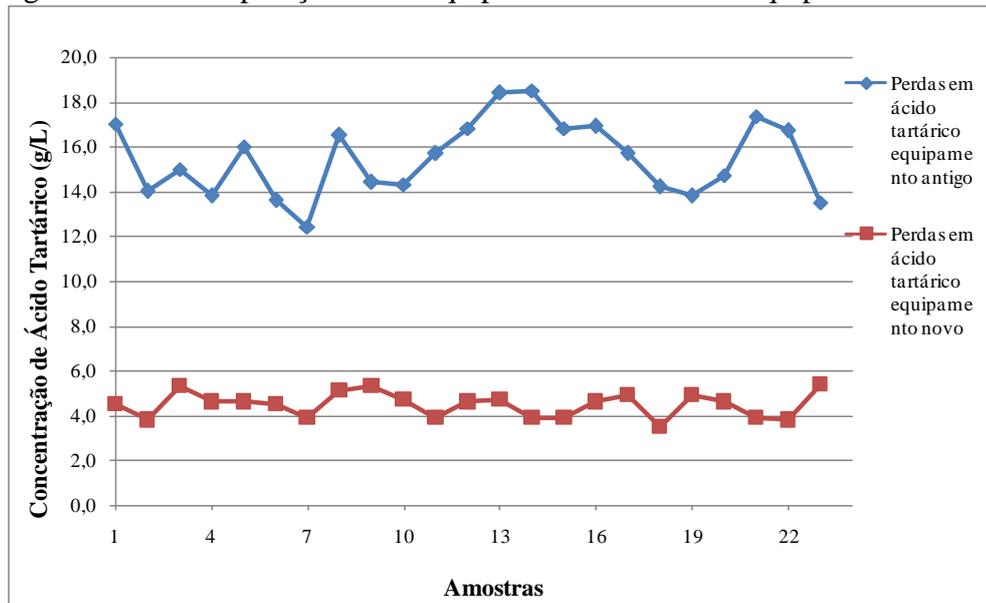
Após a realização desse teste, verificou-se que o funcionamento elétrico do dispositivo também estava de acordo com o esperado.

Posteriormente testou-se a bomba centrífuga, os atuadores pneumáticos, o compressor de parafuso, e todos estavam de acordo com o esperado.

Depois de testados todos os componentes que fazem parte do filtro prensa, o equipamento, por fim foi liberado para o teste com produto.

Durante a realização dos primeiros testes foi coletado amostras do sulfato de cálcio para determinar em laboratório a concentração de ácido tartárico que estava contido no resíduo. Os resultados podem ser visualizados na Figura 4.15.

Figura 4.15 – Comparação entre Equipamento Anterior x Equipamento Novo

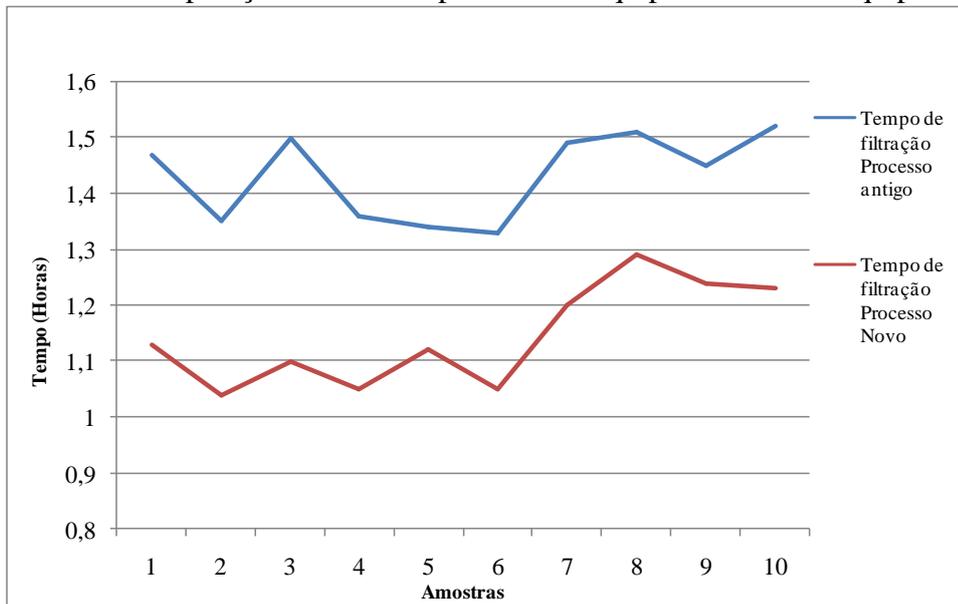


Fonte: O Autor (2013)

As perdas de ácido tartárico com o equipamento anterior eram em média de 15g/L, ou seja, cerca de 225 kg/dia. Em contra partida as perdas de ácido tartárico com o equipamento novo ficaram em torno de 4,5 g/L, ou seja 67,5 kg/dia. Uma redução de 333% em relação ao equipamento anterior.

Durante o período de testes foram coletados dados sobre os tempos de ciclo (tempo de batelada do processo). Na Tabela 4.16 demonstra a comparação entre os tempos de ciclo equipamento anterior e equipamento novo.

Figura 4.16 – Comparação entre o tempo de ciclo Equipa. Anterior x Equipa. Novo



Fonte: O Autor (2013)

O tempo de ciclo no equipamento anterior era em torno de 1 hora e 43 minutos. O tempo de ciclo do novo equipamento ficou em torno de 1 hora e 15 minutos, cerca de 27% mais rápido que o processo anterior. Este ganho foi oriundo pela automatização hidráulica das placas e marcos, onde antigamente era desprendido muito tempo para essa ação.

O ganho com esta modificação resultou em diminuição em 90% nas horas extras com o operador deste equipamento. Também foi implementado o processo de lavagem dos tecidos de filtração todos os dias no final do turno, num período de 1 hora/dia. Essa lavagem ajuda limpar os tecidos de filtração, desobstruindo os mesmo, assim ajuda a diminuir a resistência do tecido facilitando a passagem do líquido pelo tecido de filtração.

4.9 ANÁLISE FINAL

Após a aprovação e teste do filtro prensa, foi realizada juntamente com a equipe que aprovou o equipamento na Veronese, uma análise para verificar quais requisitos de projeto foram atingidos, e aqueles que não são se conseguiu atingir. A análise é apresentado na Tabela 6 abaixo.

Tabela 9 – Análise final dos requisitos de projeto

Class.	Requisitos de projeto	Objetivos	Metas	Análise Final
1º	Custo total de fabricação (R\$)	Minimizar o custo total de fabricação	Máx. 80.000 R\$	O custo final ficou em 72.000 R\$. Requisito atingido
2º	Concentração de ácido tartárico (g/L)	Diminuir a concentração de ácido tartárico na torta	Máx. 7 g/L	Concentração com 4,5 g/L Requisito atingido
3º	Quantidade de torta processada (kg/dia)	Transportar de forma eficiente o resíduo do processo. Max. 10000 Kg/dia		O processo ficou simples e ágil, pois o sulfato de cálcio cai diretamente na caixa de descarte. Requisito atingido.
4º	Tempo de fechamento e abertura das placas e marcos (minutos)	Realizar no menor tempo possível o processo de fechamento e abertura da placas e marcos	Máx. 4 minutos	Tempo de fechamento e abertura em 3 minutos. Requisito atingido.
5º	Número de válvulas	Automatizar o fechamento e abertura da válvulas	Mín. 8 válvulas	O fluxograma ficou com 12 válvulas. Requisito atingido.
6º	Vazão de ar (pcm)	Aumentar a vazão de ar comprimido	Mín. 40 pcm	Vazão de ar comprimido ficou em 70 pcm. Requisito atingido.
7º	Tempo de vida útil (anos)	Vida útil do equipamento por volta de 10 anos		Não pode ser avaliado.
8º	Número de sistemas de segurança	Tornar o equipamento mais seguro	Mín. 2 sistemas	Sistema de comando bi-manual para os acionamentos do cilindro hidráulico principal e secundário. Requisito atingido.
9º	Consumo de energia elétrica (kWh)	Obter o equipamento com a menor consumo de energia	Máx.40 kW/h	O sistema montado incluso, compressor de parafuso, válvulas, bomba centrífuga e filtro prensa, ficou com 33 kWh. Requisito atingido.

Fonte: O Autor (2013)

Tabela 9 – (Continuação) Análise final dos requisitos de projeto

10°	Tempo de reparo (horas)	Aumentar a disponibilidade do equipamento	Máx. 1 hora	O equipamento ainda não sofreu manutenção corretiva. Não pode ser avaliado.
11°	Interface simples com o operador	Permitir que o operador tenha facilidade de interação com o equipamento		Fabricação do quadro sinótico com fluxograma do processo. Requisito atingido.
12°	Tempo de entrega dos componentes (dias)	Evitar que os componentes comprados atrasem a montagem do equipamento	Máx. 30 dias	O tempo de entrega foi de 35 dias. Requisito não atingido.
13°	Atendimento as NR's	Maximizar a proteção da saúde e segurança do trabalhador	Atendimento das leis vigentes (NR-10 e NR-12)	Não ocorreu nenhum acidente com o operador. Requisito atingido.
14°	Área para instalação	Atender a área disponível (Comprimento 15,10 m x Largura 3,15 m)	Máx. 47 m ²	Área para instalação do equipamento atendida. Requisito atingido.
15°	Número de operadores	Permitir que o equipamento seja operável por apenas um operador		Necessário somente um operador. Requisito atingido.
16°	Tempo entre falhas (horas)	Garantir a confiabilidade do equipamento	Mín. 400 Horas	O equipamento ainda não completou as 400 horas de operação. Não pode ser avaliado.
17°	Equipamento ergonômico	Manter a integridades física e psicológica do operador	Atendimento das leis vigentes (NR-17)	Não ocorreu reclamação por parte do operador. Requisito atingido.
18°	Utilizar materiais recicláveis	Aumentar a reciclabilidade do dispositivo	Mín. 80% do peso do equipamento em materiais recicláveis	Do peso total do equipamento, cerca de 90% dos componentes são reciclados. Requisito atingido.
19°	Tempo para produzir a máquina (dias)	Entregar o equipamento no prazo estipulado	Máx. 60 dias	O tempo para produzir o equipamento foi de 63 dias. Requisito não atingido.
20°	Facilidade de obtenção de peças de reposição	Privilegiar fabricantes brasileiros	Mín. 90% dos componentes do equipamento fabricados no Brasil	100% dos componentes do equipamento são de fabricação brasileira. Requisito atingido.
21°	Componentes padronizados	Maximizar o número de componentes padronizados no mercado	Mín. 50%	Foi padronizado cerca de 70% dos componentes. Requisito atingido.

Fonte: O Autor (2013)

A partir da Tabela 9, verifica-se que quase todos os requisitos de projeto foram atingidos, exceto dois.

O requisito que não foi atingido foi o tempo de entrega reduzido, onde foi estabelecido como período máximo de 30 dias, porém a unidade hidráulica, componente crítico para o funcionamento do equipamento, apresentou um prazo de entrega de 35 dias.

Caso ocorra algum problema com a unidade hidráulica, fica complicada a situação do equipamento, pois o mesmo não poderá ficar todo esse tempo parado, para isso, foi indicado

para a Veronese a compra de componentes de reposição da unidade hidráulica, como por exemplo, motor elétrico, válvulas e bomba de engrenagens.

Diante do atraso da entrega da unidade hidráulica, acabou o requisito tempo para produzir o equipamento não sendo atingido. O período estabelecido como máximo para a construção do equipamento foi de 60 dias, mas com o atraso esse período foi para 63 dias.

Os requisitos referentes ao tempo de vida útil, Tempo Médio de Reparo de Máquina (MTBF) e Tempo Médio entre Falhas (MTTR), não puderam ser avaliados nessa análise, pois como eles estão em função do tempo de trabalho do equipamento, não teria como realizar essa avaliação com pouco tempo de operação do equipamento.

Por fim, em uma análise mais ampla, verifica-se que a maioria dos principais requisitos, foi atingida de forma satisfatória, atendo às expectativas do cliente, conforme esperado pela Tabela 9.

CONCLUSÃO

O trabalho aqui apresentado surgiu das necessidades da Veronese em melhorar a maneira de como era realizado o processo de filtração sólido-líquido entre o LV 20 °Be com o sulfato de cálcio (CaSO_4). A partir das análises realizadas na Veronese, ficou evidente que como o processo de filtração era realizado anteriormente, causava muitas perdas no processo, demandava muito tempo assim como implicava em riscos para o operador.

O entendimento claro do modo como era realizado a filtração, alertou sobre algumas características que não deveriam ser contemplados no novo equipamento.

Para atingir o objetivo geral proposto, foi realizada uma investigação teórica a cerca do Processo de Desenvolvimento de Produtos, para que fosse possível elaborar um plano de trabalho detalhado para que o projeto pudesse evoluir de forma constante e contínua. Com isso separou-se o mesmo em oito etapas, tornando o projeto fácil de ser executado e entendido.

Os resultados alcançados ao final deste trabalho vêm de encontro ao que foi objetivado durante as fases iniciais do mesmo, ou seja, o desenvolvimento de uma máquina filtro prensa de placas e marcos para realizar o processo de filtração sólido-líquido em uma indústria química.

Este objetivo foi alcançado a partir da contemplação dos objetivos específicos elencados. A utilização de uma metodologia de projeto adequada, atrelado ao uso de ferramentas durante o desenvolvimento do projeto, possibilitou que a maior parte das necessidades da Veronese e requisitos de projeto pudessem ser atendidos, resultando na satisfação final da empresa.

Por fim, se atendeu uma das principais necessidades solicitadas pelo cliente, que era diminuir em 15 % a perda em ácido tartárico neste processo. O aumento de produtividade ficou na ordem de 157 kg/ dia de ácido tartárico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTREG. **Atuadores pneumáticos simples e dupla ação**. 2013

AKAO, Y. **Introdução ao Desdobramento da Qualidade**. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 1996.

ALFA LAVAL, Disponível em: <<http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/alfa-plus/Documents/AlfaPlus.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2012.

ANDRITZ, Separation. **Filter press side-bar and overhead design**. Disponível em: <http://cur.g.andritz.com/c/com2011/00/01/04/10453/1/1/0/372512575/se-downloads-filterpresssidebar_en_.pdf>. Acesso em: 07 set. 2012.

ANDRITZ, Separation. **Filtragem Hiperbárica**. 2009.

BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1983.

BENNIS, W.; MISCHÉ, M. **A empresa do século XXI**. São Paulo: Nobel, 1999.

BOMBAS BETO. **Manual Técnico do Filtro Prensa**. Disponível em: <www.bombasbeto.com.br/pdf/Filtro%20Prensa%20-%20FP.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012.

BORNIA, Antonio C.; LORANDI, Joisse A. O Processo de Desenvolvimento de Produtos Compartilhado na Cadeia de Suprimentos, Curitiba: **Revista FAE**, v.11, n.2, Jul./Dez. 2008.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE); Portaria nº 3.214, de 08 de Junho de 1978 – NR-01, NR-10, NR-11, NR-12, NR-17, NR-26. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2012.

CHEMICAL ECONOMICS HANDBOOK. **Marketing Research Report Abstract**. SRI Consulting. Zürich, 2010.

CHENG, L. C.; MELLO FILHO, L. D. R. **QFD – Desdobramento da Função Qualidade na Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Editora Blücher, 2007.

CHEREMISINOFF, Nicholas P. **Liquid Filtration**. Second Edition, Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.

CHIAPERINI COMPRESSORES, **Manual de Instruções e Certificado de Garantia**. 2008.

COULSON, J. M.; RICHARDSON J. F. **Tecnologia Química**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1989.

DAVID, Airton C. **Secagem Térmica de Lodos de Esgoto. Determinação da Umidade de Equilíbrio**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DICKENSON, T. C. **Filters and Filtration Handbook**. Fourth Edition. Oxford: Elsevier Advanced Technology, 1997.

DRUM FILTERS. **The Rotary Drum Filter**. Disponível em: <<http://www.solidliquid-separation.com/vacuumfilters/drum/drum.htm>>. Acesso em: 08 set. 2012.

FLSMIDTH MINERALS. **EIMCO Extrator Horizontal Belt Vacuum Filter**. 2008.

FORCELLINI, Fernando A. **Introdução ao Desenvolvimento Sistemático de Produtos**. Apostila (Disciplina de Projeto Conceitual) – Programa de Pós – Graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2002.

FORCELLINI, Fernando A.; PENSO, Cíntia C. **Aplicação de Metodologias de Projeto de Produtos Industriais no Processo de Desenvolvimento de Produtos na Indústria de Alimentos**. In: IV Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos. Gramado, RS. 2003.

FRANÇA, S. C. A.; MASSARANI, G. **Separação Sólido-Líquido**. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Ministério da Ciência e Tecnologia. 4ª ed. Rio de Janeiro 2004. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-146-00.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2012.

GUIMARÃES, Nilton G. **Filtragem de Rejeitos de Minério de Ferro Visando a sua Disposição em Pilhas**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

HAUSER, J. R.; CLAUSING, D. The House of Quality. **The Harvard Business Review**, nº. 3, 1988.

HUSTON, Larry; SAKKAB, Nabil. Conectar e desenvolver, como funciona o novo modelo de inovação da Procter & Gamble. **Harvard Business Review Brasil**, São Paulo, v.84, nº.3, mar. 2006.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000.

LINSINGEN, Irlan V. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**, 2º ed, Florianópolis, Editora da UFSC, 2003.

MARQUES, Rafael. **Desenvolvimento De Uma Máquina Para Girar o Chassi do Vagão Hopper**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Caxias do Sul – UCS. Caxias do Sul, 2011.

MASSARANI, G. **Fluidodinâmica em Sistemas Particulados**. Segunda Edição, Rio de Janeiro: Editora E-paper, 2002.

MIKI, Marcelo K. **Utilização de polímeros para condicionamento de lodo de ETE para desidratação em filtro prensa de placas**. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica. São Paulo, 1998.

McCABE, Warren L.; et al. **Operaciones Unitarias em Ingenieira Quimica**. Cuarta Edición. Madrid: McGraw-Hill, 1991.

NETZSCH. **Filter Press Dewatering Theory**. 2008. Disponível em: <http://www.netzschusa.com/distrib_secure/pdfs/applications/Filter%20Press%20Dewatering%20Theory%20NETZSCH%2010-28-2008.PDF> Acesso em: 06 out. 2012.

NETZSCH. **Catálogo Técnico do Filtro Prensa**. 2012.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. Segunda Edição. Porto Alegre: Bookman, 2004.

PAHL, G.; et al. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos. Métodos e Aplicações**. Tradução da 6ª edição alemã. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2005.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design, A Systematic Approach**. London: The Design Concil, 1988.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. **Chemical Engineers Handbook**. Fifth Edition, New York: McGraw-Hill, 1980.

POLONIO, Walter L. Filtração Direta de Lodo de Caldo de Cana. **Revista Meio filtrante**, Bauru, SP: Ano VIII, Edição 39. Julho/Agosto 2009.

PURCHAS, Derek B. **Handbook of Filter Media**. First Edition, Oxford: Elsevier Advanced Technology, 1996.

REALI, Marco A. P. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água - PROSAB**. 4ª ed., Rio de Janeiro: ABES, 1999.

ROOZEMBUR, N. F. M.; EEKELS J. **Product Design: Fundamentals and Methods**. Chichester: John Wiley & Sons, 1995.

ROZENFELD, Henrique; et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo**. São Paulo, SP: Saraiva, 2006.

RUD. Sistemas de Elevação e Amarração de Cargas: **Lingas de Corrente, Pontos de Içamento e Acessórios – Qualidade Grau 8**. 9º Ed. Disponível em: <<http://www.rud.com.br/pdf/catalogo-sistemas-icamento-grau8.pdf>>. Acesso em: 27 de fev. 2013.

SABOGAL, Lyda P. **Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-03062008122118/publico/Sabogal.pdf>>. Acesso em: 9 set. 2012.

SCALICE, R. K. **Desenvolvimento de Uma Família de Produtos Modulares para o Cultivo e Beneficiamento de Mexilhões**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2003.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7º ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SCHNEIDER, MOTO BOMBAS INDUSTRIAIS. **Bombas centrífugas em aço inox**. Disponível em: <<http://www.schneider.ind.br/produtos.php?id=50&ctg=12>>. Acesso em: 25 de mar. de 2013.

SCHULZ. **Manual de Operações do compressor de parafusos SRP 4000**. 2013.

SOUSA, A. G. **Estudo e Análise dos Métodos de Avaliação da Montabilidade de Produtos Industriais no Processo de Projeto**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 1998.

SUTHERLAND, Ken. **Filters and Filtration Handbook**. Fifth Edition, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008.

TARLETON, Steve; WAKEMAN, Richard J. **Solid/Liquid Separation – Equipment, Selection and Process Design**. First ed., Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=k497pkcKsf0C&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=fals>>. Acesso em: 07 set. 2012.

TESSAROSLO, Paolo. Is integration enough for fast product development an empirical investigation of the contextual effects of product vision. **The Journal of Product Innovation Management**. New York: v.24, p.69-82, 2007.

VERONESE, **Banco de Dados**. Caxias do Sul, 2012.

WAKEMAN, Richard J.; TARLETON, Steve. **Solid/Liquid Separation – Principles of Industrial Filtration**. First edition, Oxford: Elsevier Advanced Technology, 2005.

GLOSSÁRIO

ÁCIDO TARTÁRICO - L(+)

O ácido tartárico, $C_4H_6O_6$ é obtido a partir do processamento de seu produto intermediário, o tartarato de cálcio.

FILTRADO

É o fluido resultante da filtração sólido-líquido.

GRAUS DE BAUMÉ

Escala para medir densidades de soluções. O valor é adimensional.

LÍQUIDO VERMELHO

Fluido rico em ácido tartárico. É resultante da filtração sólido-líquido com o sulfato de cálcio ($CaSO_4$).

MEIO FILTRANTE

Material utilizado para realizar a filtração sólido-líquido.

POLPA

Solução sólido-líquido, (material a ser processado no processo de filtração).

SULFATO DE CÁLCIO

A reação química entre o tartarato de cálcio ($CaC_4H_4O_6$) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, tem como subproduto um precipitado de sulfato de cálcio ($CaSO_4$).

TARTARATO DE CÁLCIO

Produto intermediário para produção de ácido tartárico ($C_4H_6O_6$) é obtido a partir do processamento das borras de vinho e outros subprodutos de origem enológica.

TORTA

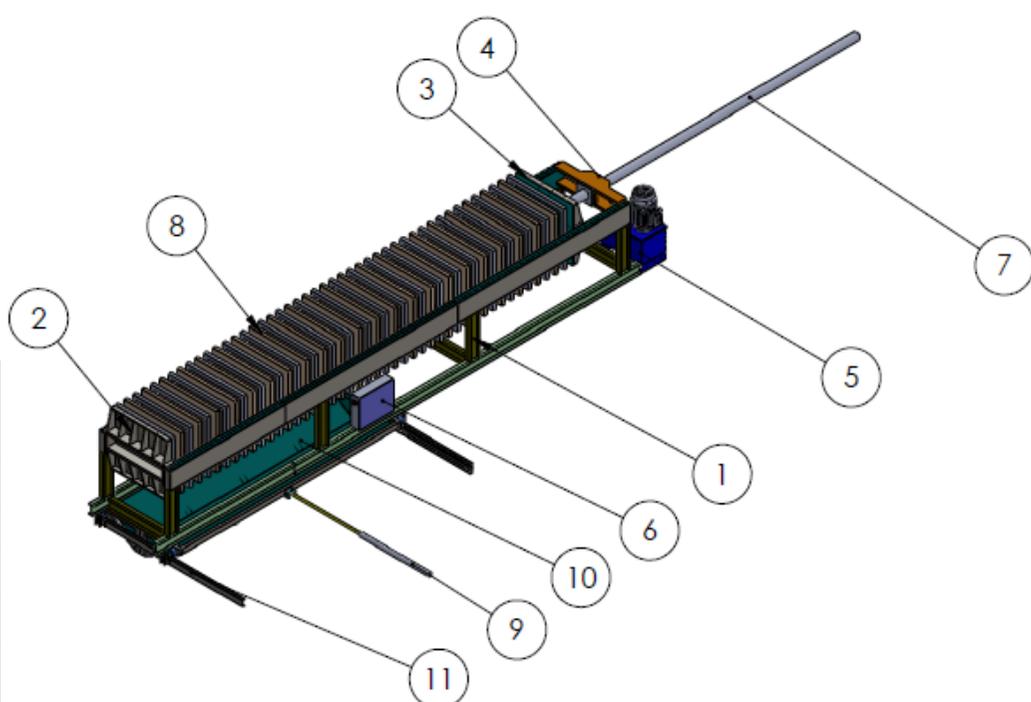
São as partículas em fase sólida que ficam retidas no meio filtrante.

APÊNDICE A – Matriz QFD

Relações		Requisitos do Projeto																						
5 - Forte 3 - Média 1 - Fraca 0 - Nula		Grau de importância	Custo (R\$)	Atendimento da NR 17	Número de operadores	Concentração de ácido tartárico (g/L)	Número de válvulas	Quadro de comando simples	Vazão de ar (pcm)	Tempo de fechamento e abertura	Quantidade de torta processada (kg/dia)	Tempo de reparo (horas)	Tempo entre falhas (horas)	Número de peças nacionais	Número de sistemas de segurança	Número de acidentes/ano	Área (m²)	Consumo energético (kWh)	Quantidade de componentes recicláveis (%)	Tempo de vida útil (anos)	Quantidade de componentes padronizados (%)	Tempo de entrega dos componentes (dias)	Tempo para produzir a máquina (dias)	
																								Custo
Necessidades dos clientes	Custo	Preço baixo	10	5	0	1	5	3	0	3	3	1	0	3	1	3	3	3	3	1	0	3	3	
	Ergonomia	Garantir boa ergonomia ao operador	9	3	5	1	0	1	1	0	5	5	5	0	0	1	3	0	1	0	5	0	0	0
	Produção	Fácil operação	8	3	1	5	0	1	3	0	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1
		Diminuir a concentração de ácido tartárico na torta	10	5	0	1	5	0	3	5	0	5	0	1	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0
		Automação no acionamento das válvulas	8	3	1	3	3	5	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0
		Interface simples com o operador	8	1	0	3	1	1	5	3	1	0	0	0	0	0	1	3	1	1	0	0	1	0
		Aumentar a secagem da torta	9	3	1	0	3	1	1	5	1	3	1	0	0	0	0	1	5	1	0	0	0	0
		Diminuir o tempo de fechamento/abertura das placas e marcos	9	3	0	1	3	1	3	3	5	3	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
		Simplificar o transporte da torta	10	3	1	1	1	0	0	0	1	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Manutenção	MTBF (Tempo médio de reparo da máquina)	8	1	1	0	1	3	0	1	0	1	5	3	3	0	0	0	1	0	3	3	0	0
		MTTR (Tempo médio entre falhas)	8	3	0	1	0	3	0	0	0	0	3	5	0	1	0	0	0	0	1	1	0	3
		Facilidade de obtenção de peças de reposição	6	1	0	0	0	1	3	3	3	0	0	0	5	0	0	3	1	1	0	0	1	0
	Segurança	Equipamento seguro para o operador	8	3	5	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	5	5	0	5	0	1	0	0	0
		Não permitir que haja acidentes com o operador	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
	Layout	Atender a área disponível para a instalação	9	1	0	0	3	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1	0
	Energia Elétrica	Baixo consumo de energia	6	3	0	0	1	5	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	5	3	0	0	0	0
	Meio Ambiente	Descarte da máquina após vida útil	6	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
	Durabilidade	Vida útil/Tempo de depreciação	8	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	3	0
	Manufatura	Utilização de materiais padronizados	7	1	0	0	0	0	0	0	3	0	3	3	1	3	0	0	0	0	1	0	3	0
		Utilizar componentes com prazo de entrega pequeno	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3
		Tempo de fabricação	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5
	Pontuação			427	128	144	255	230	171	225	240	250	174	133	110	182	163	153	176	119	184	81	165	116
Peso percentual (%)			11,2%	3%	4%	7%	6%	4%	6%	6%	7%	5%	3%	3%	5%	4%	4%	5%	3%	5%	2%	4%	3%	
Prioridade			1	17	15	2	5	11	6	4	3	10	16	20	8	13	14	9	18	7	21	12	19	

Fonte: O Autor (2013)

APÊNDICE B – Montagem do equipamento



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA
1	Estrutura (Side bar)
2	Cabeça fixa
3	Cabeça móvel
4	Fixação Cilindro/Estrutura
5	Unidade Hidráulica
6	Quadro elétrico
7	Cilindro hidráulico Principal
8	Marcos e placas
9	Cilindro hidráulico Secundário
10	Bandeja coletora
11	Estrutura de locomoção da bandeja


VERONESE
 produtos químicos
 Setor - Manutenção Industrial

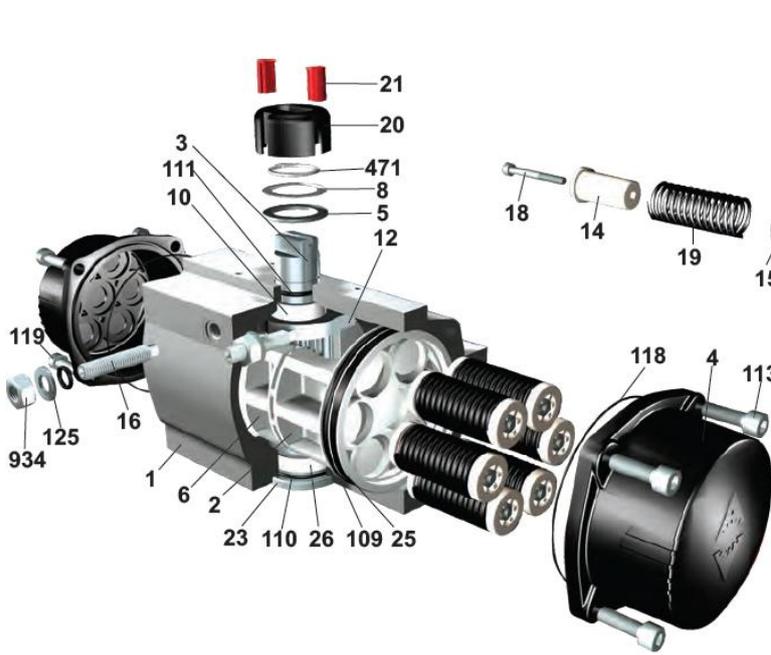
Projeto: **Filtro Prensa de Placas e Marcos**
 Denominação: **Montagem Completa**

TOLERÂNCIA NÃO ESPECIFICADA CONFORME NORMA DIN 7168							
USAR	DIMENSÃO	1 A 4	4 A 30	30 A 100	100 A 315	315 A 1000	1000 A 2000
	FINA	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$
	MÉDIA	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 2,0$
	GROSSA	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$

Material: ----- Processo: -----
 Desenhista/projetista: **Elias Bitencourt da Silva** Escala: **1:75**

Fonte: O Autor (2013)

ANEXO A – Catálogo Atuador pneumático de simples ação Actreg



- 1 - Corpo – Alumínio anodizado duro
- 2 - Pistão - Alumínio
- 3 - Pinhão – estrutura de aço carbono niquelado
- 4 - Tampas – Revestidas de Alumínio e epóxi
- 5 - * Arruela – poliamida PA 6.6
- 6 - *Pistão deslizante - Poliamida PA 6,6 + 30% G.F.
- 7 - **Suporte – aço carbono niquelado
- 8 - Arruela – Aço inoxidável
- 10 - *Casquilho superior do eixo - Poliamida PA 6,6 tamanho 500 & mais reforço Br.
- 12 - Stop - ASTM A-105 – Parada – ASTM A 105
- 14 - Suporte longo para mola – Poliamida PA 6.6
- 15 - Suporte curto para mola – Poliamida PA 6.6
- 16 - Parafuso de ajuste – Aço inoxidável
- 18 - Parafuso – Aço inoxidável
- 19 - Mola - DIN 2076 • D-5.6
- 20 - Indicador de posição - poliamida
- 21 - Came - Poliamida
- 23 - Anel de centro – Aço carbono niquelado
- 25 - *Guia deslizante - Poliamida PA 6,6 + 30% G.F.
- 26 - *Casquilho inferior - Poliamida PA 6,6
- 41 - **Arruela de aço inoxidável
- 109 - *O-Ring - NBR
- 110 - *O-Ring - NBR
- 111 - *O-Ring - NBR
- 113 - Parafuso de aço inoxidável
- 118 - *O-Ring - NBR
- 119 - *O-Ring - NBR
- 125 - Arruela de aço inoxidável
- 471 - * Arruela lisa – aço inoxidável
- 934 - Porca – aço inoxidável
- 985 - Porca – aço inoxidável

ATUADOR SIMPLES AÇÃO TORQUE DE SAÍDA EM NM

ATUADOR EFEITO SIMPLES TORQUE de saída em Nm																									
Tamanho	TIPO	ATUADOR EFEITO SIMPLES TORQUE de saída em Nm																		Spring stroke	FES0				
		3 bar		3,5 bar		4 bar		4,5 bar		5 bar		5,5 bar		6 bar		6,5 bar		7 bar				8 bar			
		0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°				
20	S04																								
	S06 A			8	5	9	7		11	8	13	10	14	12	16	13	17	15	19	17	22	20	4	7	1,51
	S08									11	7	12	9	14	10	15	12	17	13	20	17	7	11		1,54
40	S04	18	14	20	17	23	20		26	24	30	27	33	30	37	34	40	37	43	41	50	47	6	8	2,17
	S06	14	10	18	14	21	17		24	20	28	24	31	27	34	30	38	34	41	37	48	44	7	12	2,20
	S08			15	10	19	14		22	17	25	20	29	24	32	27	36	30	39	34	46	41	10	16	2,23
	S10								20	14	24	17	27	20	30	24	34	27	37	30	44	37	12	20	2,26
	S12										21	13	25	17	28	20	32	24	35	27	42	34	15	24	2,29
	S14 A												21	13	26	17	30	20	33	24	40	30	17	28	2,32

Fonte: ACTREG (2013)

ANEXO B – Catálogo de correntes de elos RUD



CORRENTES E LINGAS DE CORRENTE GRAU 8

(Conforme normas brasileiras ABNT NBR 15516-1 e 2, NBR ISO 1834, NBR ISO 3076 e norma europeia EN 818-2 e 4)

Descrição DxT (mm)	Carga máx de trabalho (kg)	Dimensões (mm)			Peso (kg/m)	Carga de teste (kN)	Carga de ruptura (kN)
		D	T	bi (mín)			
6 x 18	1120	6	18	7,8	0,80	28,3	45,2
8 x 24	2000	8	24	10,4	1,40	50,3	80,4
10 x 30	3200	10	30	13	2,20	78,5	126
13 x 39	5300	13	39	17	3,70	133	212
16 x 48	8000	16	48	20,8	5,70	201	322
19 x 57	11200	19	57	24,7	8,10	284	454
22 x 66	15000	22	66	28,6	10,90	380	608
26 x 78	21200	26	78	33,8	15,20	531	849
32 x 96	31500	32	96	41,6	23,0	804	1290
36 x 108	40000	36	108	46,8	28,0	1020	1630

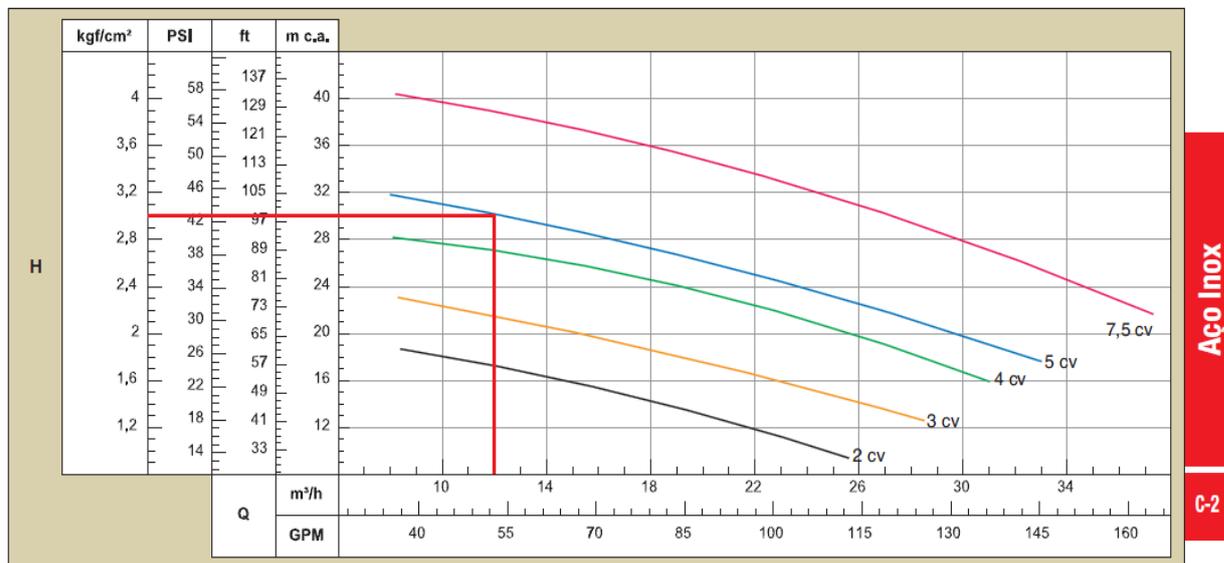
Fonte: RUD (2013)

ANEXO C – Bomba centrífuga

MCI-RQ



	MODELO	MCI-RQ	74962	sch NAC			
	MODEL			60 Hz II polos/poles			
Sucção / Succión / Suction	1 1/2"	Potência / Potencia / Power [kW(cv)]	1,5 (2)	2,2 (3)	3 (4)	3,7 (5)	5,5 (7,5)
Recalque / Descarga / Discharge	1 1/2"	Rotor / Impulsor / Impeller [mm]	112	120	129	135	150



Fonte: SCHNEIDER (2013)