



Tiago Rafael Belarmino

**PROJETO CONCEITUAL DA VENTILAÇÃO DA ZONA DE
EVAPORAÇÃO DE UM SISTEMA DE PINTURA**

Horizontina

2012

Tiago Rafael Belarmino

**PROJETO CONCEITUAL DA VENTILAÇÃO DA ZONA DE
EVAPORAÇÃO DE UM SISTEMA DE PINTURA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Vilmar Bueno da Silva, Eng.

Horizontina

2012

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Projeto conceitual da ventilação da zona de evaporação de um sistema de
pintura”**

Elaborado por:

Tiago Rafael Belarmino

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 06/12/2012
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Esp. Vilmar Bueno da Silva
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador**

**Prof. Me. Ricardo Ferreira Severo
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Eng. Mec. Paulo Hartmann
John Deere Brasil**

**Horizontina
2012**

DEDICATÓRIA

“Aos meus pais, que me propiciaram uma vida digna onde eu pudesse crescer, acreditando que tudo é possível, desde que sejamos honestos, íntegros de caráter e tendo a convicção de que desistir nunca seja uma ação contínua em nossas vidas; que sonhar e concretizar os sonhos só dependerá de nossa vontade.”

AGRADECIMENTO.

Esse projeto resume em poucas páginas cinco anos de muito aprendizado, os quais não seriam possível sem o apoio dos meus pais, irmãos, parentes, amigos, professores e colegas, que apesar dos momentos de stress e mau humor, nunca deixaram que me abate-se ou perdesse o foco. A todos meu sincero “muito obrigado”.

“Os cientistas estudam o mundo como ele é,
Engenheiros criam um mundo que nunca existiu”.

Theodore Von Karman.

RESUMO

Este projeto trata da análise e redimensionamento de uma zona de evaporação da empresa John Deere Brasil, onde o principal problema é a contaminação das peças pintadas, gerando retrabalhos. Sendo o objetivo principal do projeto eliminar a contaminação das peças. Para correto dimensionamento do sistema foram levantados dados referentes as normas aplicáveis, métodos de resolução e conceitos aplicados em sistemas similares, que podem ser encontrados na revisão da literatura. O projeto foi baseado em uma metodologia de desenvolvimento de produtos, proposta por Amaral, onde foram aplicadas as fases informacional e conceitual que visam identificar os desejos dos clientes e através de uma análise funcional, identificar e aplicar a solução que melhor atenda estes requisitos. Ao final desse projeto há um esboço com um layout preliminar, acompanhado de uma lista de especificações do produto e um descritivo de como os objetivos são atendidos. Com a aplicação desse projeto, é possível atender os objetivos propostos dentro das normas vigentes aplicadas nesse processo.

Palavras-chaves: Ventilação industrial, projeto de engenharia, limite de explosividade.

ABSTRACT

This project deals with the analysis and resizing of an evaporation zone at John Deere Brazil, where the main problem is the painted parts contamination, causing rework. The main project goal is to eliminate the sources of contamination of parts. For correct sizing of the system were it were Considered standards, solving methods and concepts applied in similar systems, it can be found in the literature review. The project was based on a products development methodology proposed by Amaral, it were developed the informational and conceptual that aim to identify customer requirements and through a functional analysis, identify and implement the solution that best meets these requirements. At projects and there are a draft with a preliminary layout with a list of product specifications and a description of how the objectives are met. With the implementation of this project, you can meet the proposed goal considering current standards applied to this process.

Keywords: Industrial ventilation, product design, explosive limit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição das tintas.....	16
Figura 2 - Limite de explosividade.....	18
Figura 3 - Ventilador Centrífugo.....	22
Figura 4 - Ventilador helicoidal.....	23
Figura 5 - Ventilador Axial.....	23
Figura 6 - Projeto Informacional.....	25
Figura 7 - Projeto Conceitual.....	27
Figura 8 - Layout do sistema de intura fabrica II.....	29
Figura 9 - Atributos do projeto.....	33
Figura 10 - Casa da Qualidade.....	35
Figura 11 - Função total. Fonte:.....	37
Figura 12 - Subfunções do sistema de ventilação.....	37
Figura 13 - Sistemas das subfunções.....	38
Figura 14 - Matriz Morfológica.....	39
Figura 15 - Matriz Morfológica - Concepção Final.....	44
Figura 16 - Arquitetura do conjunto de insuflamento.....	45
Figura 17 - Pontos de exaustão de ar.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Clientes ao longo do Ciclo de Vida.	31
Quadro 2 - Fases do ciclo de vida e as necessidades dos clientes.	32
Quadro 3 - Diagrama de <i>Mudge</i>	34
Quadro 4 - Classificação dos Requisitos.	34
Quadro 5 - Lista de especificações.	36
Quadro 6 - Matriz de seleção da estrutura do equipamento.	40
Quadro 7 - Matriz de seleção do sistema de exaustão.	40
Quadro 8 - Matriz de seleção do sistema de ajuste da exaustão.	41
Quadro 9 - Matriz de seleção do sistema de insuflamento.	41
Quadro 10 - Matriz de seleção do sistema de pré filtragem.	42
Quadro 11 - Matriz de seleção do sistema de pós filtragem.	42
Quadro 12 - Matriz de seleção do sistema de ajuste do insuflamento.	43
Quadro 13 - Matriz de seleção do sistema de segurança.	43
Quadro 14 - Orçamento prévio.	51

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	PINTURA	15
2.1.1	PROCESSO QUÍMICO DE CATALISE DA TINTA	15
2.2	NR33 – TRABALHO EM ESPAÇO CONFINADO	16
2.2.1	ATMOSFERA POTENCIALMENTE EXPLOSIVA	17
2.2.2	LIMITES DE EXPLOSIVIDADE	17
2.3	VENTILAÇÃO INDUSTRIAL	18
2.3.1	VENTILAÇÃO NATURAL	19
2.3.2	VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA	19
2.3.3	VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA	20
2.3.4	VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA PARA EVITAR FOGO OU EXPLOSÃO	20
2.4	VENTILADORES	21
2.4.1	VENTILADORES CENTRIFUGOS	21
2.4.2	VENTILADORES HELICOIDAIS	22
2.4.3	VENTILADORES AXIAIS	23
2.5	FILTROS	24
2.6	PROJETO DE ENGENHARIA	24
2.6.1	PROJETO INFORMACIONAL	24
2.6.2	PROJETO CONCEITUAL	26
3.	METODOLOGIA	29
3.1	PROJETO INFORMACIONAL	29
3.1.1	ATUALIZAÇÃO DO ESCOPO DO PROJETO	29
3.1.2	DETALHAMENTO DO CICLO DE VIDA	30
3.1.3	REQUISITOS DOS CLIENTES	31
3.1.4	REQUISITOS DO PROJETO	32
3.1.5	ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO	33
3.2	PROJETO CONCEITUAL	36
3.2.1	MODELO FUNCIONAL	36
3.2.2	PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO	38
3.2.3	DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA	45
3.2.4	SELEÇÃO DA CONCEPÇÃO	46
3.2.5	CONCEPÇÃO FINAL	48
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
4.1	ORÇAMENTO PRÉVIO	51
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	ANEXO A – TABELA DE LIMITE DE EXPLOSIVIDADE	55

1. INTRODUÇÃO

Com a tendência de aumento da população mundial, as indústrias do ramo agrícola se sentem na obrigação de desenvolver novas tecnologias e investir em capacidade produtiva. Empresas de ponta, como a *John Deere*, se preocupam com o futuro e estão acompanhando o crescimento mundial desenvolvendo produtos mais eficientes, capazes de produzir mais alimentos de alta qualidade para suprir as necessidades de mais de 7 bilhões de habitantes.

No ano de 2010 a cabine de pintura foi substituída por uma cabine de maior capacidade, o que aumentou suas siluetas de entrada e saída, aumentando também o volume de ar necessário para mantê-la com pressão negativa, evitando o deslocamento da névoa de tinta para a zona de evaporação. Com o aumento da silueta da cabine, o sistema existente não possui vazão de ar suficiente para manter a pressão da zona de evaporação maior que a da cabine, dessa forma a saída da cabine de pintura se mantém com pressão positiva em relação a zona de evaporação, gerando uma corrente de ar no sentido da cabine para a zona de evaporação.

Este projeto se justifica, pois a corrente de ar citada no parágrafo anterior, arrasta as partículas de tinta para a zona de evaporação onde colidem com as peças recém pintadas, causando problemas de qualidade. Essas partículas ainda podem se chocar contra as paredes do ambiente, gerando resíduos que, se não forem controlados, podem gerar problemas de qualidade. E por último, a pior consequência, essa névoa é arrastada para o sistema de exaustão da zona de evaporação, lançando-a para o meio ambiente sem tratamento, gerando consequências ambientais.

Os problemas causados por esse processo são evidentes, pois no último ano, foram gastos R\$19.000,00 para limpeza da zona de evaporação. Outro dado analisado é que 19% dos retrabalhos de pintura foram causados por sujeira nas peças, que foram causadas pela suspensão de partículas na zona de evaporação.

Esse projeto tem como objetivo geral eliminar problemas de qualidade, oriundos das partículas em suspensão. Para atendimento deste objetivo, temos como objetivos específicos o redimensionando do sistema de ventilação da zona de evaporação, contemplando o dimensionamento das vazões de insuflamento e exaustão necessárias para que o sistema atenda as especificações ambientais, os

limites de particulados em suspensão e a troca de ar necessária para que o ambiente não se torne explosivo, limitando-se ao projeto conceitual do sistema.

Esta monografia é composta por quatro capítulos, onde são discutidos os conceitos, princípios, métodos e ferramentas que foram estudados para compreender melhor o problema e quais aspectos foram considerados para desenvolver a melhor solução que atenda os objetivos propostos. Na última etapa é apresentada uma lista de soluções detalhadas, de maneira que atendam os objetivos do projeto e as necessidades dos clientes.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo contempla os conceitos e princípios que foram estudados para entender melhor o problema do projeto, quais aspectos, normas e referências que foram considerados para o desenvolvimento de uma solução que atenda os objetivos propostos.

2.1 PINTURA

Produtos fabricados de aço podem ser destruídos pela corrosão, uma das soluções para esse problema é a pintura desses produtos. A pintura é um processo relativamente fácil de ser realizado e permite que a tinta seja aplicada em superfícies irregulares e de difícil acesso. Além de proteção, a pintura também tem a função de tornar a aparência atraente, impermeabilizar, permitir maior ou menor absorção do calor (FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO, 1996).

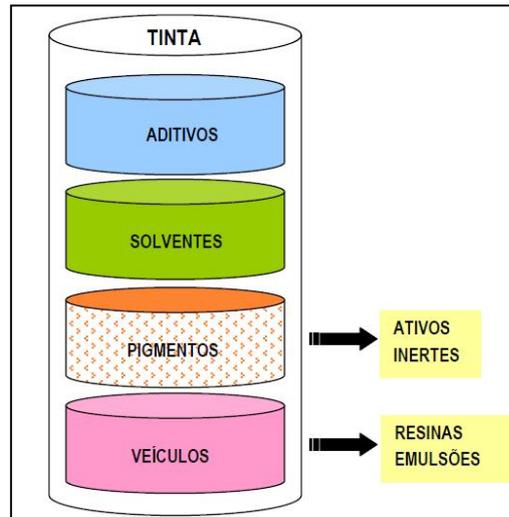
Para correta aderência do filme à peça, é necessário uma preparação da peça, eliminando sujeira, graxa e outros. Muitas vezes também são aplicados tratamentos especiais para reduzir a porosidade e fissuras nas peças. Após a aplicação da tinta esta também deve passar por um processo de cura, que envolve a evaporação dos solventes e catalise do filme (MARTINS, 2009).

A aplicação da tinta nas peças deve ser de forma homogênea, aplicando a menor camada necessária para garantir a proteção, sem aumentar os custos. A aplicação pode ser realizada de diversas maneiras, das mais simples, como pincéis e rolos de pintura até as mais modernas, como pistolas eletrostáticas e robôs de pintura (FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO, 1996).

2.1.1 Processo químico de catalise da tinta

Martins (2009), define que a tinta é composta basicamente por veículos, pigmentos, solventes e aditivos. Conforme a Figura 1, a maioria desses componentes são eliminados durante o processo de secagem/catálise, sendo que apenas o pigmento e parte dos aditivos (considerados “sólidos”) fazem parte da camada de tinta, também conhecida como filme.

Figura 1 - Composição das tintas.



Fonte: Martins, 2009.

- a) Resina: é a parte não volátil da tinta, ela é responsável pela formação da película na qual a tinta se converte depois de seca;
- b) Pigmento: material sólido utilizado para colorir e dar característica de resistência à tinta.
- c) Aditivo: elemento responsável por adicionar características especiais ou melhorar as propriedades do filme.
- d) Solventes: líquido volátil com baixo ponto de ebulição, utilizado para dissolver a solução.

O processo de catálise da tinta faz com que os componentes considerados voláteis se desprendam dos sólidos da tinta liberando vapores que geralmente são inflamáveis (MARTINS, 2009).

2.2 NR33 – TRABALHO EM ESPAÇO CONFINADO

A norma regulamentadora NR33 (2006), tem como objetivo estabelecer os requisitos mínimos para identificação de espaços confinados, bem como os critérios de reconhecimento, avaliação, monitoramento e controle dos riscos existentes nessas áreas, a fim de garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que interagem com espaços confinados.

A NR33 (2006), classifica um espaço confinado como um ambiente não projetado para contínua ocupação humana, que possua meios limitados de entrada e saída, cuja ventilação existente é insuficiente para remover contaminantes ou, onde possa existir a deficiência ou enriquecimento de oxigênio. Essa norma também

define uma área classificada como qualquer área potencialmente explosiva ou com risco de explosão.

Explosão é uma reação química onde ocorre grande liberação de energia após a ignição. A presença de vapores inflamáveis em espaços confinados gera a situação de risco de explosão ou incêndio (LIMA; QUELHAS; SERRÃO, 2005).

2.2.1 Atmosfera potencialmente explosiva

Certos processos como vaporização de produtos celulósicos, refinaria de petróleo, pintura e outros, geram vapores inflamáveis. Os gases e vapores inflamáveis compõem um dos riscos das instalações industriais, podendo causar incêndios ou explosões. O grau de risco, nesses casos, varia consideravelmente de acordo com cada processo e devem ser considerados no dimensionamento desses sistemas (WOODS, 1970).

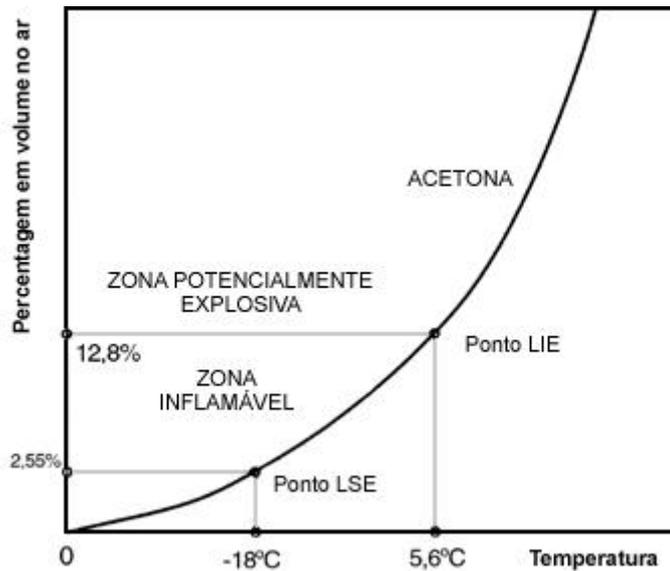
De acordo com a norma NBR IEC 60079-10 (2006), o ambiente cuja atmosfera possua uma quantidade de vapor com potencial explosivo, deve possuir um sistema de ventilação adequado para manter a concentração desse contaminante abaixo do limite de explosividade.

A norma API RP505 (1997), considera uma área como adequadamente ventilada, se a taxa de ventilação existente no ambiente for suficiente para diluir e manter a concentração de vapores explosivos, menor que 25% de seu limite inferior de explosividade.

2.2.2 Limites de explosividade

Esse termo é utilizado por Soler e Palau (2006), para definir qual a concentração em que ocorrerá ou não a propagação da chama em uma mistura ar-vapor, sendo classificado conforme o Figura 2:

Figura 2 - Limite de explosividade



Fonte: Soler e Palau, 2006.

O limite inferior de explosividade (LIE), é aquele em que não há propagação de chama pois a concentração de vapor inflamável é muito baixa, não permitindo a propagação da chama. E o limite superior de explosividade (LSE), é quando a concentração de ar é muito baixa para ocorrer a propagação da chama. Dessa forma os sistemas de ventilação, para esse tipo de ambiente, deve ser dimensionado para que o ambiente permaneça abaixo do limite inferior de explosividade (SOLER E PALAU, 2006).

2.3 VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

Costa (2005) dá o nome de ventilação ao processo de renovação do ar de um recinto, cujo objetivo fundamental é controlar a pureza e o deslocamento do ar em um ambiente fechado, para manter suas condições em certos limites.

Segundo Guimarães; Mesquita; Nefussi (1977), ventilação é um processo de movimentação de ar por meios naturais ou mecânicos. Quando esse movimento introduz o ar a um ambiente ele é chamado de insuflamento e quando esse movimento extrai ar do ambiente é chamado de exaustão. Os sistemas de ventilação industrial podem ser divididos em dois sistemas principais, ventilação geral e ventilação local.

De acordo com Macintyre (1988), a ventilação tem por finalidade manter o conforto do homem em um ambiente global, manter boas condições ambientais,

eliminar vapores, poeiras e gases, mantendo o ambiente limpo e impedindo que a concentração desses gases torne o ambiente explosivo.

2.3.1 Ventilação Natural.

O sistema de ventilação geral pode ser natural: que segundo Clezar e Nogueira (1999), pode ser aplicada em edifícios industriais, públicos, habitações e garagens. Os diferenciais de pressão para a movimentação do ar, nesse caso, podem vir dos ventos ou das diferenças de temperatura entre o ar externo e o ar interno. Sendo que a ventilação pode variar consideravelmente devido, a variações climáticas.

A ventilação provocada pelo vento pode ser intensificada por meio de aberturas, dessa forma, portas e janelas colocadas em paredes opostas e na direção dos ventos predominantes, têm importante papel na ventilação natural, propiciando um rendimento razoável com baixo custo de energia (COSTA, 2005).

A ação dos ventos influencia na ventilação natural, a velocidade média do vento, a direção predominante e a interferência do relevo ou construções, devem ser considerados para o dimensionamento da ventilação natural. Para fins de cálculo, deve-se considerar apenas 50% da velocidade média do vento (CLEZAR; NOGUEIRA, 1999).

A ventilação natural por meio da diferença de temperatura ocorre devido a redução da massa específica do ar, com o aquecimento o ar se torna menos denso que o ar externo, dessa forma ocorre uma diferença de pressão entre o interior e o exterior do recinto, formando um fluxo de ar (COSTA, 2005).

2.3.2 Ventilação local exaustora.

A ventilação local exaustora tem a função de remover os contaminantes diretamente na fonte geradora, evitando que se espalhe no ar. Esse tipo de ventilação se mostra bastante eficiente, porém nem sempre é possível de ser aplicado devido ao número de fontes contaminantes, a distância da fonte geradora ou à particularidades dos processos (CLEZAR; NOGUEIRA, 1999).

Segundo Guimarães; Mesquita; Nefussi (1977), o sistema de ventilação local exaustora é constituído basicamente de:

- Captor: ponto de entrada dos gases;
- Dutos: condutores dos gases que estão sendo sugados do ambiente;

- Ventilador: fornece o fluxo de ar que vai sugar os contaminantes através de um diferencial de pressão entre o captor e a saída do sistema.

- Equipamento de controle de poluição do ar: destina-se a reter os poluentes, para que esses não sejam lançados na atmosfera.

2.3.3 Ventilação geral diluidora.

Para Costa (2005), esse método de ventilação baseia-se em misturar ar limpo ao ar contaminado para baixar a concentração do contaminante no ambiente. Geralmente é utilizado quando a ventilação local exaustora é ineficiente ou inviável.

O ar limpo pode ser misturado ao ar contaminado de duas formas principais; quando a concentração do contaminante é baixa, a renovação de ar ocorre através do diferencial de pressão causado pelo sistema de insuflamento que ao injetar ar limpo no ambiente expulsa o ar diluído pelos orifícios do ambiente. Quando o volume de trocado é muito alto, faz-se necessário um sistema mais complexo, onde a troca do ar é forçada por um sistema de exaustão, utilizado para extrair ar do ambiente, dando espaço ao ar limpo que o sistema de insuflamento está injetando (COSTA, 2005).

Geralmente na ventilação geral diluidora são utilizados ventiladores centrífugos com pás voltadas para frente, que atingem as pressões necessárias com menor velocidade periférica, o que proporciona menos ruído durante o funcionamento. Em alguns casos, unicamente para a extração de ar, são utilizados ventiladores de fluxo axial, onde as diferenças de pressão são baixas (CLEZAR; NOGUEIRA, 1999).

2.3.4 Ventilação geral diluidora para evitar fogo ou explosão

Para alguns produtos utilizados na indústria, o risco de inflamação ou explosão é uma consideração da maior importância quando realizado estudo de ventilação geral diluidora (MACINTYRE, 1988).

Nesse caso o objetivo do sistema de ventilação é manter o nível de concentração de vapores inflamáveis em um nível inferior ao LIE (limite inferior de explosividade), de acordo com Soler e Palau (2006) o fluxo de ar que deve fornecer a ventilação dá-se pela Equação (1):

(1)

$$Q \left(\frac{m^3}{h} \right) = \left(\frac{(22,4 \times Pe \times 100 \times C \times S)}{Pm \times LIE \times B} \right)$$

Onde:

Q = Vazão mínima de ar limpo;

C = Coeficiente de segurança entre 4 e 12;

Pe = Peso específico

S = Litros/hora do solvente a diluir;

LIE = Limite Inferior Explosividade % (tabelado);

B = Constante igual a 1 para temperaturas até 120 °C. Para temperaturas superiores deve ser tomado = 0,7.

Quando existe mais de uma fonte geradora, ou diferentes substâncias poluidoras e não se sabe o efeito da mistura dos contaminantes, por medida de segurança, o cálculo deve ser feito separadamente e a vazão de ar limpo deve ser igual a soma das vazões calculadas (MACINTYRE, 1988).

2.4 VENTILADORES

Ventiladores são máquinas que se destinam a produzir deslocamento dos gases, que ocorre através da rotação de um rotor dotado de pás adequadas acionada através de um motor, o que permite a transformação da energia mecânica do motor, em energia potencial de pressão e cinética (MACINTYRE, 1988).

Segundo definição de Clezar e Nogueira (1999), ventiladores são estruturas mecânicas utilizadas para converter energia mecânica em aumento de pressão do ar, os ventiladores podem ser classificados em centrífugos e axiais.

Woods (1970), define os ventiladores como uma máquina propulsora que propulsiona o ar por ação aerodinâmica e os classifica em três tipos básicos: centrífugos, helicoidais e axiais, apesar dos dois últimos serem muito semelhantes.

2.4.1 Ventiladores centrífugos

Os ventiladores centrífugos são formados por um impulsor, ou rotor, que gira dentro de uma carcaça em forma de voluta. O rotor é formado por pás, muito similar a uma roda hidráulica. A carcaça possui uma entrada no mesmo sentido do eixo do rotor e uma saída perpendicular à entrada. Quando o rotor gira, ele gera uma força

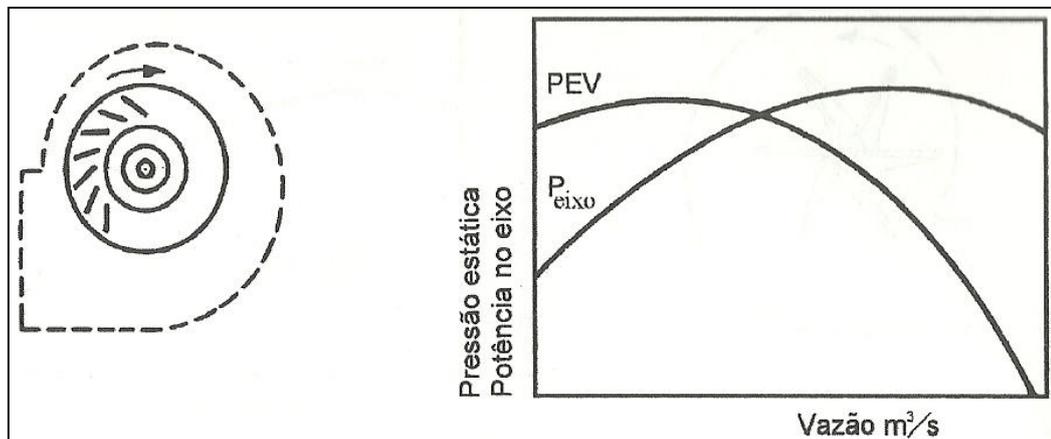
centrífuga em direção a rotação, dessa forma o ar é expulsado pelo bocal de saída (WOODS, 1970).

A forma das pás do rotor influencia na força exercida sobre o ar, na potência de acionamento e na velocidade de saída, Woods (1970), diferencia os ventiladores centrífugos:

- a) Hélices radiais retas.
- b) Hélices curvadas para frente.
- c) Hélices curvadas para trás.

A Figura 3 mostra o esquema de um ventilador centrífugo de pás inclinadas para trás e sua curva característica.

Figura 3 - Ventilador Centrífugo

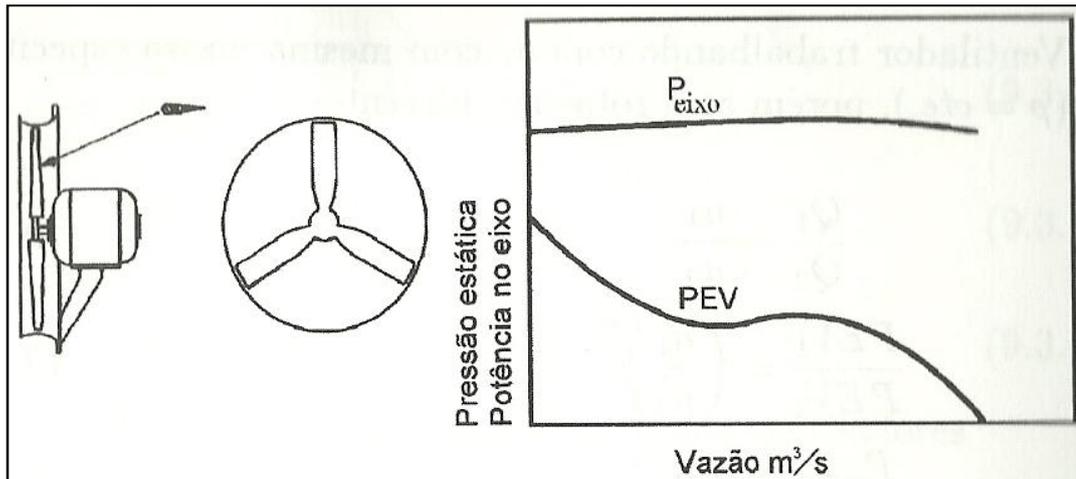


Fonte: Clezar e Nogueira, 1999, pg 238.

2.4.2 Ventiladores helicoidais

Os ventiladores helicoidais tem uma ampla aplicação onde a resistência oferecida ao fluxo de ar é baixa, como em extração de ar de edifícios ou para simples ventilação. Esse tipo de ventilador é formado basicamente por duas ou mais pás/hélices dispostas no eixo de acionamento (WOODS, 1970).

Figura 4 - Ventilador helicoidal.



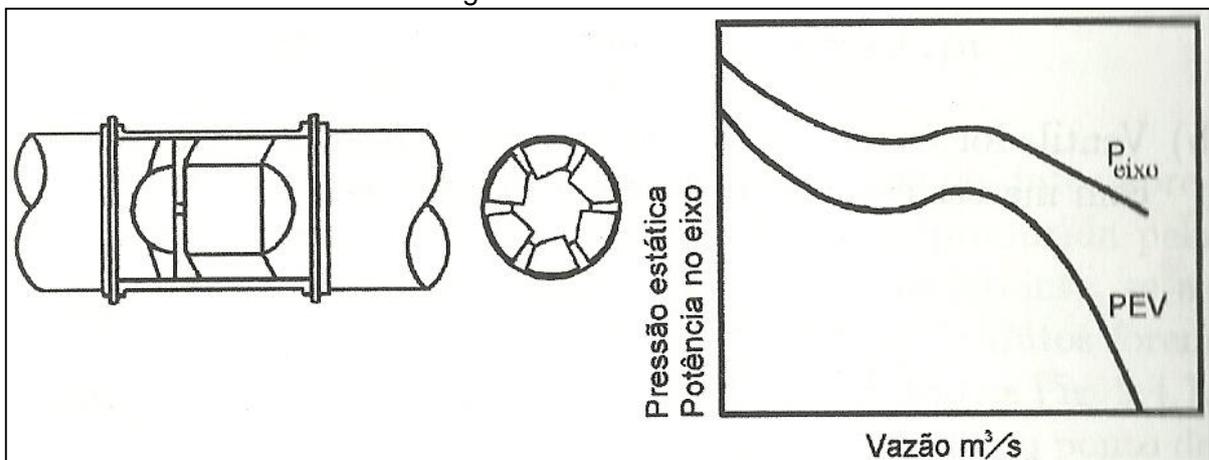
Fonte: Clezar e Nogueira, 1999, pg 239.

Nesses ventiladores o ar entra por todos os lados e, conforme indicado na Figura 4, o fluxo mantém a direção axial com uma pequena porção radial. Se utilizados onde haja resistência para o deslocamento do ar, o fluxo pode retornar pelas próprias hélices do ventilador, tornando-se ineficiente (WOODS, 1970).

2.4.3 Ventiladores axiais

Segundo Woods (1970), os ventiladores de fluxo axial são muito utilizados devido a seu alto desempenho e simples instalação, podendo atingir até 60 mm de coluna d'água. Os ventiladores de fluxo axial também tem a vantagem de poder ser instalados diretamente nos dutos de transporte do ar, conforme Figura 5, o que reduz o espaço de instalação.

Figura 5 - Ventilador Axial



Fonte: Clezar e Nogueira, 1999, pg 239.

Os ventiladores de fluxo axial são formados por pás, em forma de asas de avião, que giram dentro de uma superfície cilíndrica. A vazão desse tipo de instalação pode ser facilmente variada, alterando o ângulo das hélices.

2.5 FILTROS

Trata-se de um dos métodos mais antigos de remoção de partículas de um fluxo gasoso, onde o fluído é forçado a passar pelo elemento poroso, capaz de reter e coletar partículas nele contidas, em geral os filtros para ventilação são de material fibroso dispostos em forma de tecido, placas ou painéis (GUIMARÃES, 1977).

Podem ser classificados de diversas maneiras, uma delas é de acordo com a forma de arranjo do material filtrante, dentre eles estão os filtros de tecido, leitos filtrantes, painéis compactados, ultrafiltros e sólidos porosos (GUIMARÃES, 1977).

2.6 PROJETO DE ENGENHARIA

O projeto de engenharia é entendido de forma muito semelhante pelos autores que estudam metodologia de projeto, segundo Back *apud* Mantovani (2011), o projeto de produto é uma atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas.

O projeto de produto também é apresentado por Roozenburg e Eekels *apud* Mantovani (2011), como um processo mental orientado, pelo qual problemas são analisados, objetivos são definidos e ajustados, propostas de solução são desenvolvidas e a qualidade dessas soluções são medidas.

Para Beitz *et al.* (2005), a missão do engenheiro é encontrar soluções para problemas técnicos e são suas ideias, o seu conhecimento e talento que irão determinar as características técnicas, econômicas e ecológicas do produto desenvolvido para o cliente.

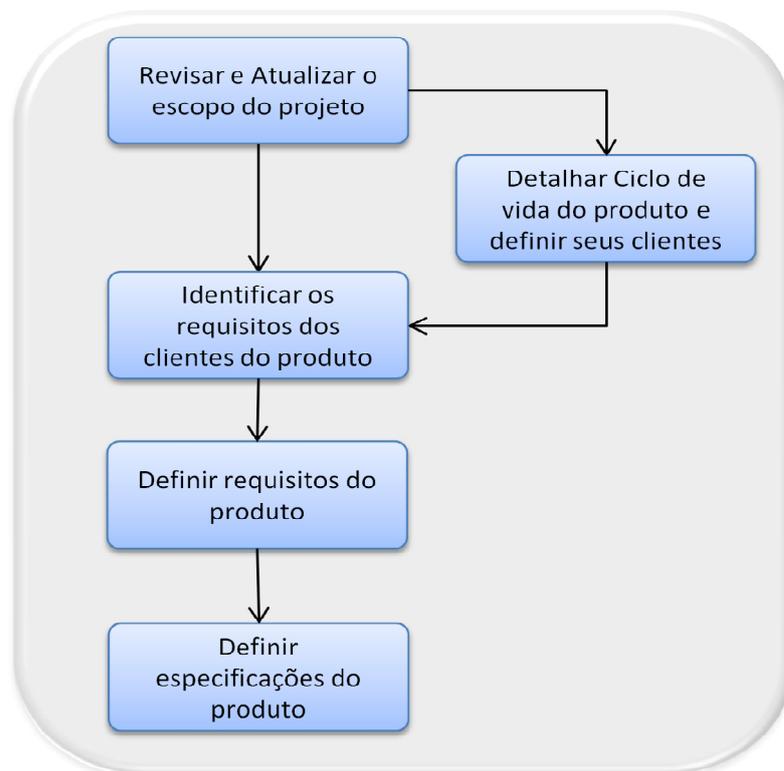
2.6.1 Projeto Informacional

Para Roozenburg e Eekels *apud* Mantovani (2011), o projeto informacional consiste em uma análise detalhada do problema do projeto, buscando-se todas as informações necessárias ao pleno entendimento do problema. É nessa fase que são determinadas as especificações do projeto, que é uma lista de objetivos que o produto a ser projetado deve atender. A partir dessas especificações que são

definidas, as funções e as propriedades requeridas do produto, também é nessa fase que são identificadas as possíveis restrições com relação ao projeto.

Para Amaral *et al* (2006), o objetivo dessa fase é desenvolver informações (especificações do produto) que serão utilizadas nas próximas fases de desenvolvimento para a definição das soluções, a fase informacional proposta pelo autor segue o fluxo da Figura 6.

Figura 6 - Projeto Informacional.



Fonte Adaptado pelo autor de Amaral *et al*, 2006, p. 212.

A revisão e atualização do escopo do projeto tem como principal finalidade compreendê-lo melhor o projeto, partindo de pesquisas de campo, levantamento de dados técnicos como parâmetros, materiais e componentes. É nessa parte que tecnologias e métodos, aplicados em projetos semelhantes, são pesquisados e analisados (AMARAL *et al*, 2006).

O detalhamento do ciclo de vida pode ser representado na forma de gráfico, quadro ou fluxograma, considerando desde o projeto até o descarte, detalhando toda a vida do equipamento. Cada produto possui seu próprio ciclo de vida, uma vez que depende de suas características de projeto, uso e descomissionamento (AMARAL *et al*, 2006).

Após identificar os clientes, Amaral *et al* (2006), destaca a próxima fase como a identificação dos requisitos dos clientes, onde são identificadas através de reuniões, entrevistas ou questionários, as necessidades que os clientes do ciclo de vida julgam importante.

Após o levantamento dos requisitos dos clientes, estes são hierarquizados através do Diagrama de *Mudge* e comparados com os requisitos funcionais na casa da qualidade. Segundo Amaral *et al* (2006), a casa da qualidade possibilita identificar quais os requisitos são mais importantes e terão maior influência na percepção do cliente.

Ao final dessa fase são formados os requisitos/especificações do produto que são associados com valores/metapas que este deve atender. Este conjunto de informações elaboradas durante o projeto informacional deve refletir as características que o produto deverá ter para atender as necessidades dos clientes (AMARAL *et al*, 2006).

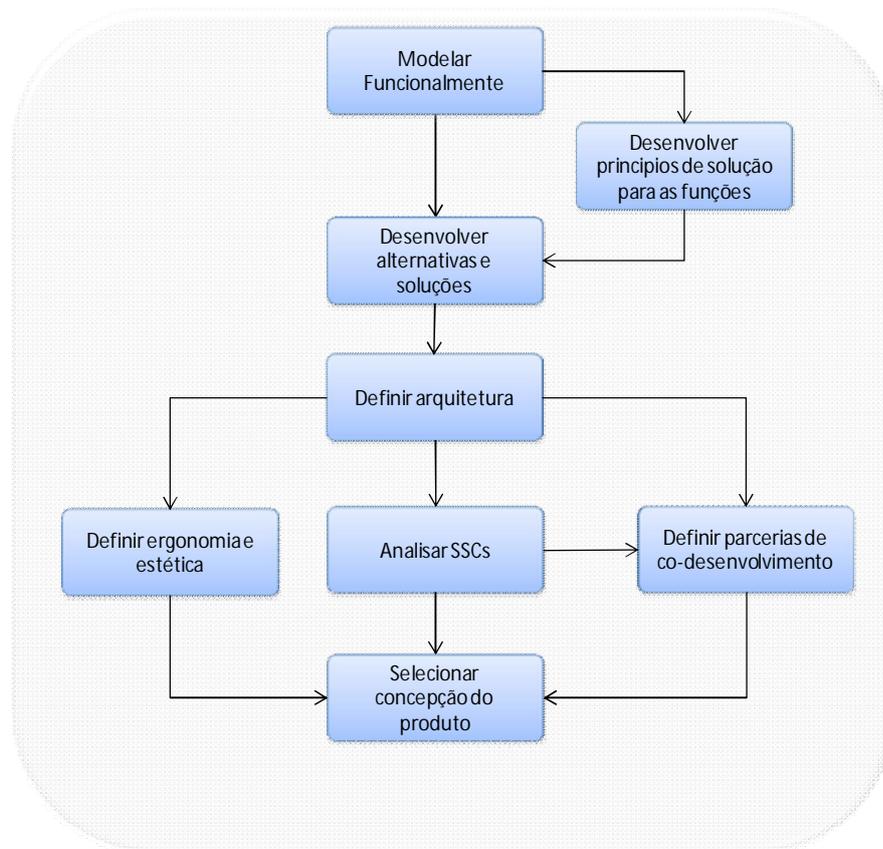
2.6.2 Projeto Conceitual

O projeto conceitual é tido como a fase mais importante no processo de projeto de um produto, pois as decisões tomadas nessa fase influenciam sobre os resultados das fases subsequentes (BACK; FORCELLINE *apud* MANTOVANI 2011).

Para Baxter (2011), esta fase deve produzir os princípios de solução que irão atender os requisitos dos clientes, de forma que diferencie o novo produto dos produtos dos concorrentes.

Amaral *et al* (2006), define o projeto conceitual como a busca de soluções para o problema do projeto através de livros, catálogos, benchmarking, etc.; Criação de soluções, que deve ser baseada nas especificações e requisitos do projeto levantadas na fase informacional; é a seleção da melhor solução para o problema do produto, que é feita através de métodos apropriados. A fase conceitual proposta pelo autor, segue o fluxograma da Figura 7.

Figura 7 - Projeto Conceitual.



Fonte Adaptado pelo autor de Amaral *et al*, 2006, p. 236.

O modelo inicial do produto deve ser concebido de forma abstrata, para que os sistemas sejam avaliados tecnicamente e que o foco seja mantido na essência do problema e não na solução imediata, proporcionando a melhor solução (AMARAL *et al*, 2006).

O modelo proposto por Amaral *et al* (2006), parte da função total, que deve ser dividida em funções ou subfunções de menor complexidade, para tornar a solução mais fácil e detalhada. Esse modelo também é composto pelas entradas que são energia, materiais, sinais e outros, que através das funções do equipamento vão se tornar as saídas dos sistemas.

Com o modelo funcional determinado, a próxima tarefa determinada por Amaral *et al* (2006), é o desenvolvimento de princípios de solução para cada um dos sistemas definidos na matriz funcional. Uma das ferramentas bastante utilizadas para a seleção de soluções é a matriz morfológica, que auxilia a equipe de projeto a identificar várias possíveis soluções para cada sistema/função.

Após selecionadas e aprovadas as soluções, a próxima etapa é a definição da arquitetura básica do produto, segundo Amaral *et al* (2006), nesse *layout* preliminar o produto é representado de forma abstrata, o que facilita alterações necessárias.

Dessa forma ao final dessa fase, como resultado, temos uma lista de subsistemas com uma descrição aproximada das tecnologias, princípio de funcionamento e formas/*layout* do produto, que é acompanhada de um descritivo de como o produto atende as necessidades dos clientes (AMARAL *et al*, 2006).

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia de projeto proposta por Amaral *et al* (2006) e os conceitos aplicados no projeto, que estão devidamente referenciados no capítulo de revisão da literatura.

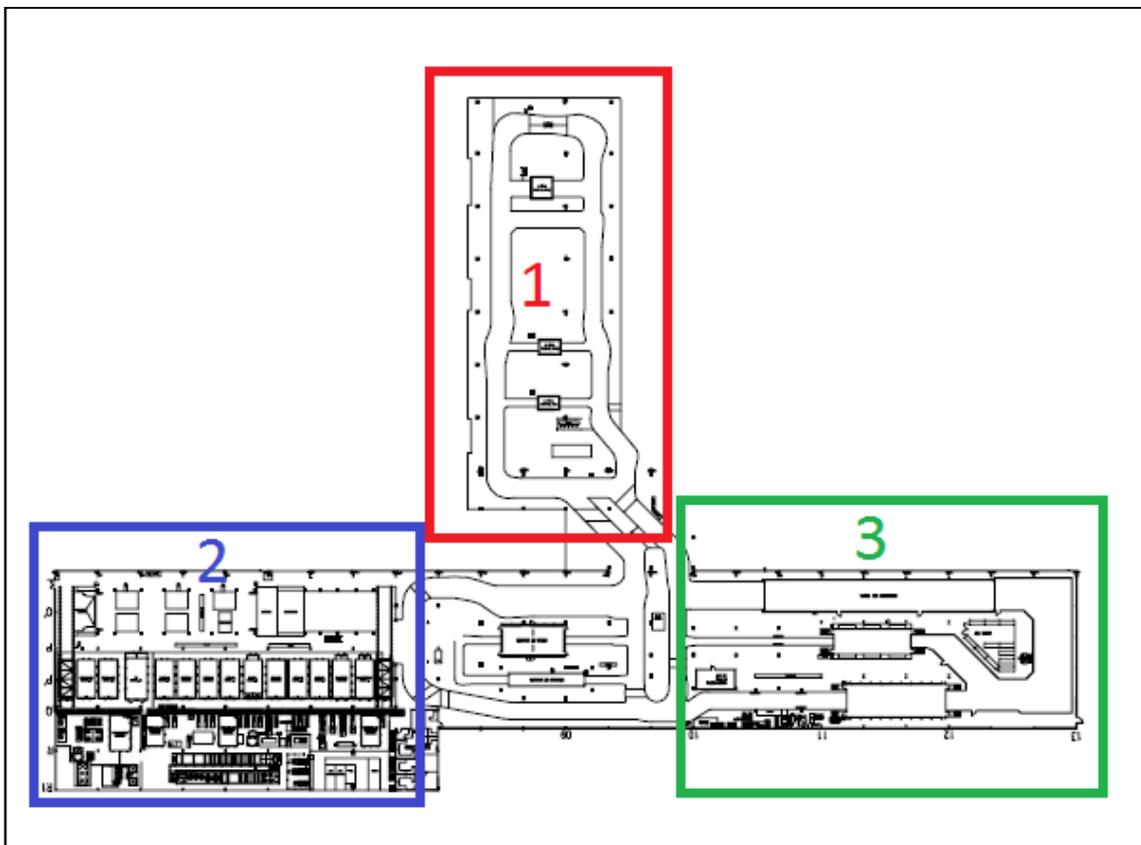
3.1 PROJETO INFORMACIONAL

Ao final dessa fase do projeto teremos as especificações do projeto, que são metas mensuráveis que o projeto deve atender, para que os objetivos sejam alcançados.

3.1.1 Atualização do escopo do projeto

A unidade da *John Deere* de Horizontina possui dois sistemas de pintura, um sistema utilizado principalmente para a pintura de peças para plantadeiras e plataformas e o outro para colheitadeiras. Este projeto trata do sistema de evaporação do sistema de pintura de colheitadeiras, que de forma macro, pode ser dividido em três principais partes, conforme layout da Figura 8.

Figura 8 - Layout do sistema de intura fabrica II.



Fonte: Desenvolvido pelo autor, adaptado de John Deere.

A área 1, destacada em vermelho, mostrada na Figura 8, consiste na área destinada à preparação para a carga dos itens a pintar e descarga dos itens pintados;

A área 2, destacada em azul, na Figura 8, consiste no sistema de *primer*, onde ocorre o tratamento e pintura através do sistema *e-coat*, através da pintura via eletrodeposição, que proporciona uma cobertura homogênea de todas as peças permitindo a pintura de grandes conjuntos.

A área 3, destacada em verde na Figura 8, considerada a área de acabamento, formada basicamente por uma área de lixamento, onde são removidos excessos de peças não conforme, duas cabines de pintura para aplicação de tinta líquida com pistolas eletrostáticas, uma zona de evaporação, que une as duas cabines ao secador de peças.

É na zona de evaporação onde ocorre o início do processo de catálise, que libera o solvente contido na tinta. Dessa forma a zona de evaporação pode ser considerada uma área potencialmente explosiva, pois a atmosfera pode atingir altos níveis de concentração de voláteis inflamáveis, devido a constante evaporação de solvente oriunda da catálise da tinta. Para evitar que essa área se torne um ambiente explosivo as técnicas de prevenção baseiam-se em eliminar as fontes de ignição, evitar o contato com o ar, utilizar uma atmosfera de gás inerte ou usar uma ventilação adequada para diluir as misturas e impedir concentrações de gases inflamáveis.

Dessa forma o sistema projetado deve ser capaz de manter a zona de evaporação isenta de contaminantes (particulados e vapores inflamáveis), atendendo as especificações ambientais, limites de explosividade e as normas internas da *John Deere*.

3.1.2 Detalhamento do ciclo de vida

O ciclo de vida do produto foi levantado a partir dos equipamentos similares que já estão instalados nas unidades da *John Deere* Brasil, considerando que o projeto conceitual será utilizado como escopo para uma empresa terceira que irá detalhar, fabricar e montar o equipamento. Dessa forma os clientes do ciclo de vida podem ser identificados no Quadro 1.

Quadro 1 - Clientes ao longo do Ciclo de Vida.

Fase do ciclo de vida	Clientes ao longo do ciclo de vida	
	<i>Internos</i>	<i>Externos</i>
Projeto	Projetista	
Fabricação		Terceiro
Montagem		Terceiro
Comissionamento	Técnicos de Manutenção	
Uso	Operação	
Manutenção	Técnicos de Manutenção	
Descomissionamento	John Deere	Terceiro

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Após definidos os clientes do ciclo de vida, também foram definidos os representantes das área, que participaram do desenvolvimento do projeto através de reuniões e trabalhos de campo.

3.1.3 Necessidades dos clientes.

As necessidades dos clientes foram levantados através de uma abordagem direta com os envolvidos nos processos levantados durante a definição do ciclo de vida do produto, onde obtivemos os seguintes resultados:

- O equipamento deve evitar que as partículas de tinta se desloquem em direção a zona de evaporação.
- A zona de evaporação não deve ser uma área com potencial explosivo.
- O ar que entra em contato com as peças deve ser limpo (atendendo o mesmo grau de filtragem das cabines), não contendo contaminantes que possam alterar a qualidade das peças pintadas.
- O equipamento deve ser de operação segura, que não seja possível entrar em contato com partes móveis.
- Fácil operação e regulagem, deve ser composto por um sistema de regulagem que seja fácil de ajustar quando necessário.
- A manutenção deve ser simples e as peças de desgaste devem ser normatizadas.
- Deve ter fácil acesso a manutenção.
- Fácil montagem.
- Confiável, baixo índice de manutenção
- Os pontos de manutenção/lubrificação devem ser identificados.

Os dados levantados foram compilados no Quadro 2 para facilitar o entendimento e aplicação no projeto.

Quadro 2 - Fases do ciclo de vida e as necessidades dos clientes.

Fases do Ciclo de Vida	Necessidades dos Clientes
Projeto	1- Completo - Desenvolver um projeto que atenda os requisitos dos clientes, bem como as normas vigentes, com um conceito simples de fácil montagem, operação e manutenção;
Fabricação	2- Baixo custo de fabricação - Fabricar somente os componentes específicos do projeto, utilizando materiais e componentes encontrados no mercado;
Montagem	3- Fácil montagem;
Comissionamento	4- Fácil de ajustar; 5- Fácil de medir;
Utilização	6- Fácil operação; 7- Utilização segura
Manutenção	8- Fácil Manutenção; 9- Fácil regulagem; 10- Alta confiabilidade;
Descomissionamento	11- Materiais recicláveis

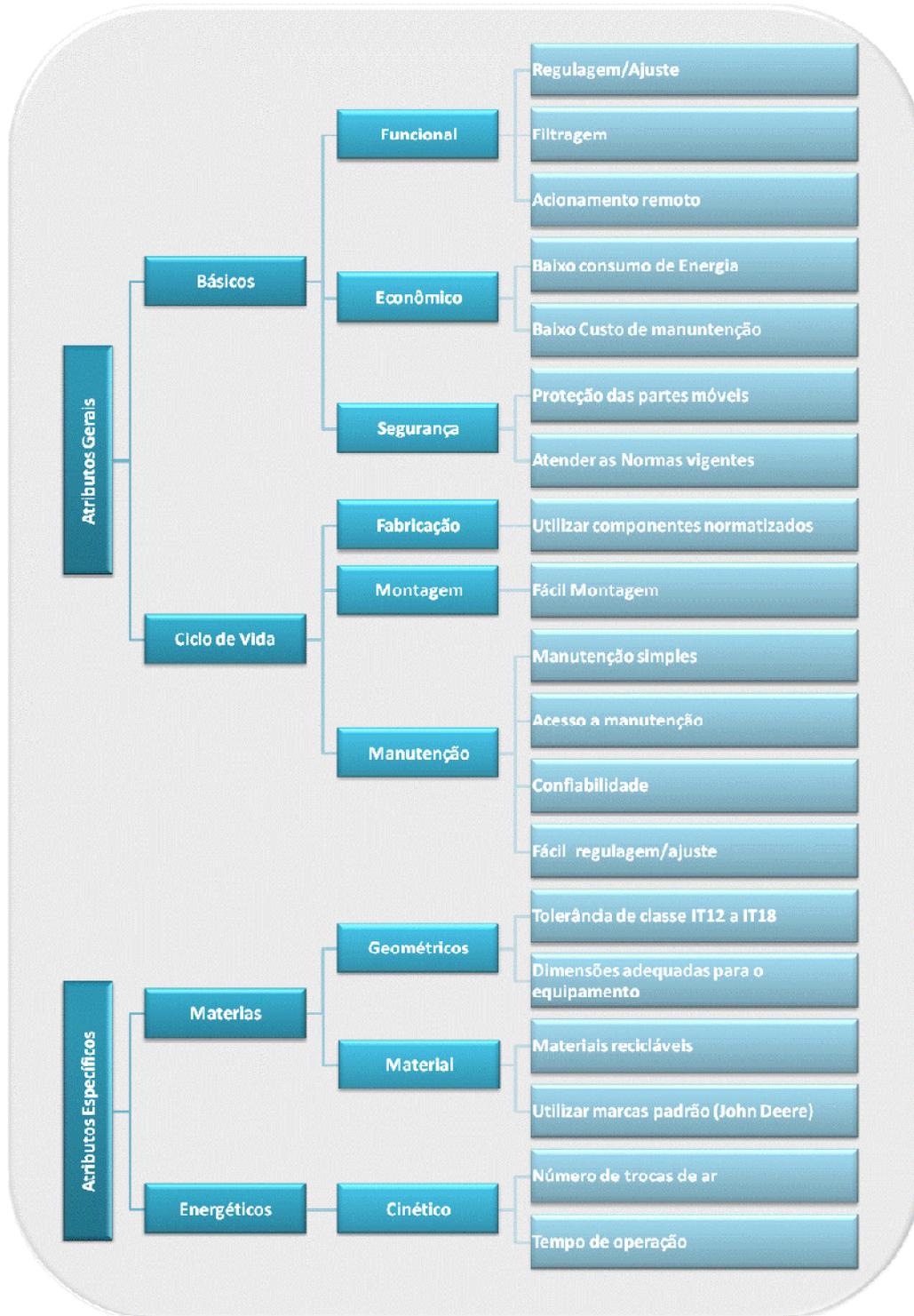
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Após analisados as necessidades dos clientes podem passar para a próxima etapa do projeto onde são identificadas as quais possuem relação entre si e quais realmente são importantes para os clientes.

3.1.4 Requisitos do projeto

Além das necessidades dos clientes do ciclo de vida, existem outras necessidades que o projetista deve considerar, para que o produto atenda as necessidades legais ou que vão auxiliar no atendimento dos requisitos dos clientes. A Figura 9 contempla as necessidades/atributos dos clientes do ciclo de vida do produto, outras necessidades levantadas de documentos de lições aprendidas de outros projetos e também através de *benchmark* de outros sistemas de evaporação.

Figura 9 - Atributos do projeto.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

3.1.5 Especificações do produto

Para definir as especificações, primeiramente os requisitos dos clientes foram relacionados no diagrama de *Mudge*, onde receberam valores de acordo com a importância definida através da comparação dos requisitos entre si.

Quadro 3 - Diagrama de *Mudge*.

Diagrama de Mudge														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Soma	%	Importância	VC
1	1B	1B	1C	1A	1C	1C	1C	1C	1C	1A	22	19,82%	2º	9
	2	2C	2B	2B	2B	2B	2C	2C	10B	2B	18	16,22%	3º	7
		3	4C	5C	6C	7C	8B	9B	10A	3B	3	2,70%	8º	1
			4	4C	4C	4C	8C	9C	10B	4B	7	6,31%	7º	3
				5	6C	5C	8B	9B	10C	5C	3	2,70%	10º	1
					6	6C	6C	9C	10B	6B	7	6,31%	6º	3
						7	7C	9C	10B	7C	3	2,70%	9º	1
							8	9C	10C	8B	10	9,01%	5º	4
								9	10B	9B	13	11,71%	4º	5
									10	10B	25	22,52%	1º	10
										11	0	0,00%	11º	0
Valor de importância														
A = 5	Muito mais importante													
B = 3	Medianamente mais importante													
C = 1	Pouco mais importante													

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O resultado do diagrama de *Mudge*, mostrado no Quadro 3, gerou a classificação dos requisitos dos clientes, onde destaca-se em primeiro, o requisito de alta confiabilidade (22,52%), segundo, projeto completo (19,82%), terceiro, baixo custo de fabricação (16,22%), quarto, fácil regulagem (11,71%) e quinto, fácil manutenção (9,01%), conforme Quadro 4.

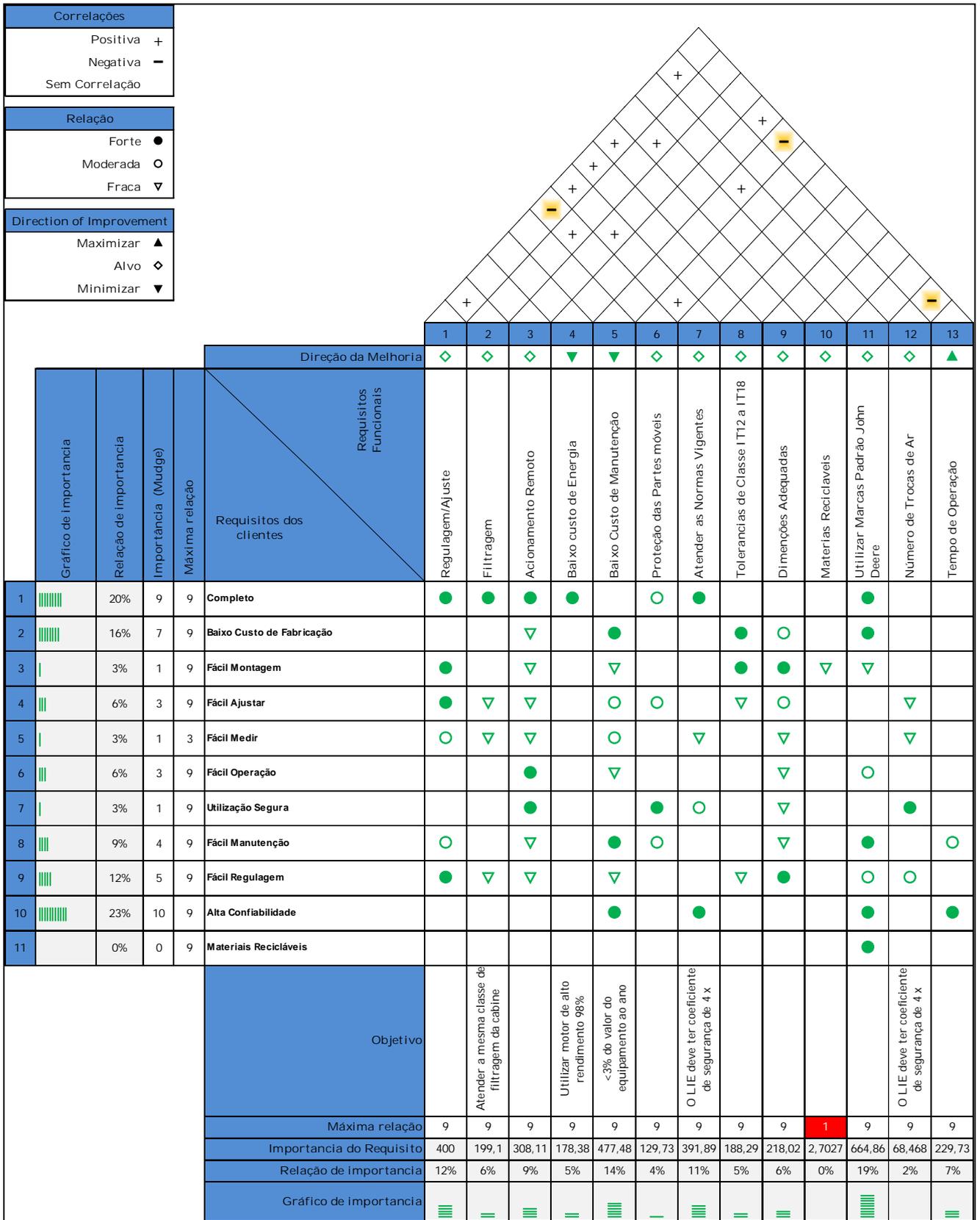
Quadro 4 - Classificação dos Requisitos.

Classificação por importância		
1º	22,52%	Alta Confiabilidade
2º	19,82%	Completo
3º	16,22%	Baixo Custo de Fabricação
4º	11,71%	Fácil Regulagem
5º	9,01%	Fácil Manutenção
6º	6,31%	Fácil Operação
7º	6,31%	Fácil Ajustar
8º	2,70%	Fácil Montagem
9º	2,70%	Utilização Segura
10º	2,70%	Fácil Medir
11º	0,00%	Materiais Recicláveis

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Agora os requisitos dos clientes podem ser comparados com os requisitos funcionais, através da casa da qualidade (*QFD- Quality Function Deployment*) que relaciona os requisitos funcionais entre si e entre os requisitos dos clientes, conforme Figura 10.

Figura 10 - Casa da Qualidade



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O Quadro 6 relaciona os requisitos em seu nível de importância atrelados a uma meta que deve ser atingida na concepção do projeto.

Quadro 5 - Lista de especificações.

Nível de Importância	Requisito	Meta
Muito Importante	1°  Alta Confiabilidade	> 98%
	2°  Completo	Atender 100% dos requisitos importantes e muito importantes
	3°  Utilizar Marcas Padrão John Deere	100% dos componentes de acordo com os padrões JD
	4°  Baixo Custo de Fabricação	< R\$200.000,00
	5°  Baixo Custo de Manutenção	<3% do valor do equipamento ao ano
	6°  Fácil Regulagem	Regulagem a distância
	7°  Regulagem/Ajuste	Possibilidade de ajustar/regular todos os pontos necessários
	8°  Atender as Normas Vigentes	Coefficiente de segurança para o LIE de 4X
Importante	9°  Fácil Manutenção	Acesso para manutenção
	10°  Acionamento Remoto	Partida em painel centralizado
	11°  Tempo de Operação	24h/dia
	12°  Dimensões Adequadas	Atender as especificações de ergonomia
	13°  Fácil Ajustar	Ajuste preciso
	14°  Fácil Operação	1 comando
	15°  Filtragem	10µm
Pouco Importante	16°  Tolerâncias de Classe IT12 a IT18	
	17°  Baixo custo de Energia	
	18°  Proteção das Partes móveis	
	19°  Fácil Montagem	
	20°  Fácil Medir	
	21°  Utilização Segura	
	22°  Número de Trocas de Ar	
	23°  Matérias Recicláveis	
	24°  Materiais Recicláveis	

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para selecionar a lista de especificações do produto, os requisitos pouco importantes foram desconsiderados, uma vez que iriam aumentar o custo de implantação sem gerar melhoria na satisfação dos clientes.

3.2 PROJETO CONCEITUAL

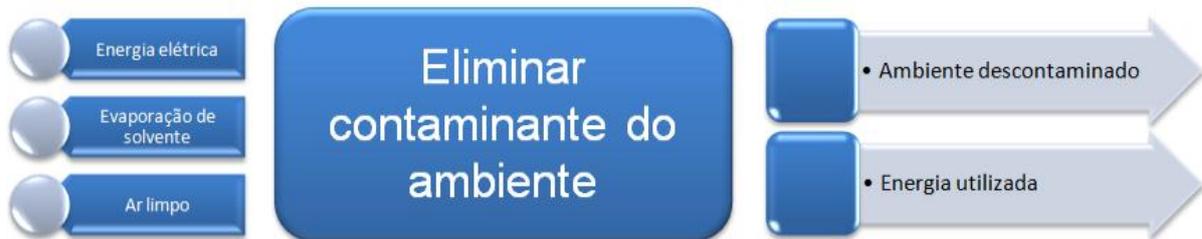
O projeto conceitual tem o objetivo de produzir os princípios para o novo produto, deve analisar e identificar como e quais os princípios de solução serão aplicados para atingir as necessidades dos clientes, gerando uma concepção final que está sujeita às limitações do projeto (BAXTER, 2011).

3.2.1 Modelo funcional.

O primeiro modelo funcional analisado foi o mais básico possível, para evitar tendências durante a seleção das concepções. Considerando como entradas do sistema: Uma fonte de energia elétrica, partindo do princípio que essa fonte é a mais

usual nesse tipo de sistema, a evaporação de solvente oriunda das peças recém pintadas e o ar limpo. Essas entradas do sistema tem a função principal de eliminar o contaminante do ambiente. Ao final do processo temos como saídas: O ambiente descontaminado; O ar de saída e a energia que foi utilizada. Essa estrutura de funções pode ser melhor identificada na Figura 11.

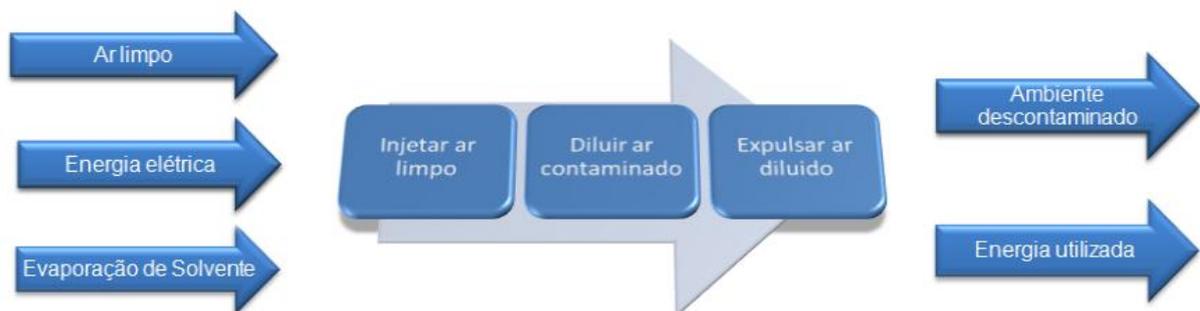
Figura 11 - Função total. Fonte:



Desenvolvido pelo autor.

Para identificar a forma de executar a função total, o sistema foi dividido em subfunções conforme Figura 12. Partindo do princípio estudado e referenciado no Capítulo 2, que trata o tema em estudo como um sistema de ventilação geral diluidor. O sistema deve injetar ar atmosférico no ambiente, para diluir o ar contaminado com os vapores de solvente e na mesma quantidade que o ar foi injetado, deve ser extraído.

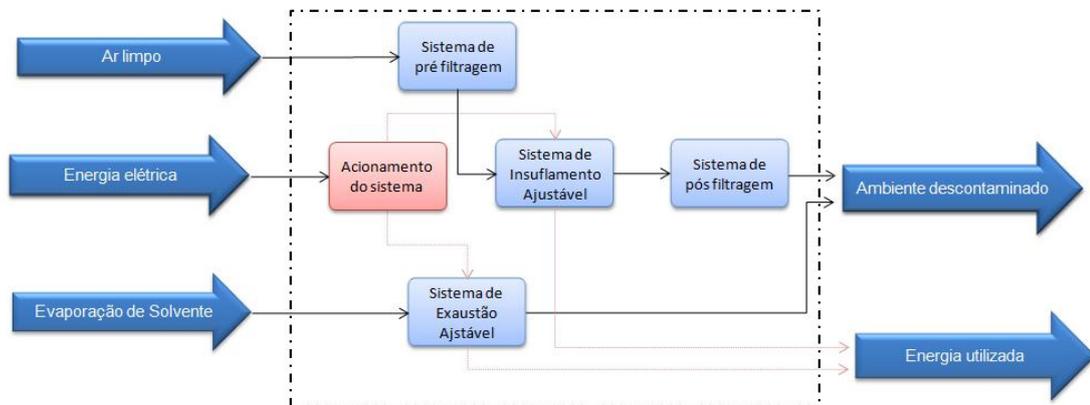
Figura 12 - Subfunções do sistema de ventilação.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O detalhamento das subfunções permite identificar sistemas que vão atuar no equipamento para desempenhar cada subfunção, para que seja executada a função total. Considerando as especificações identificadas na fase informacional, os sistemas foram identificados conforme Figura 13.

Figura 13 - Sistemas das subfunções.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

O conjunto será composto basicamente de um sistema de renovação de ar para injetar ar atmosférico, limpo, no ambiente. Um sistema de pré filtragem (antes do ventilador) e um sistema de pós filtragem para que atenda as especificações definidas no Projeto Informacional.

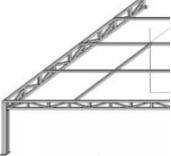
Já o sistema de exaustão tem a função de remover o ar diluído do ambiente para dar lugar ao ar limpo que está sendo injetado. Para fins de dimensionamento deve ser considerado que o ar a ser eliminado está abaixo do limite de explosividade, pois o solvente, que evapora, é constantemente diluído pelo ar de entrada.

Além dos sistemas detalhados acima, existem outros sistemas elementares, mas não menos importantes, como: estrutura, método de ajuste e sistema de segurança, que devem ser considerados na busca por princípios de solução.

3.2.2 Princípios de solução

A matriz morfológica da Figura 14, foi estruturada para a geração de alternativas de solução para o problema do projeto. Nela estão relacionadas as funções e os princípios de solução para o desempenho dessas funções. Uma matriz morfológica bem estruturada possibilita a seleção da melhor concepção para o produto.

Figura 14 - Matriz Morfológica.

Função	Princípios de Solução		
Estrutura do equipamento	 Estrutura metálica	 Alvenaria	 Polímero
Sistema de Exaustão	 Ventilador axial	 Ventilador Centrífugo	 Natural
Ajuste da exaustão	 Dampers	 Inversor de frequência	 Chapa perurada
Sistema de insuflamento	 Ventilador axial	 Ventilador Centrífugo	 Natural
Pré filtragem	 Filtro bolsa	 Filtro Manta	 Filtro Plisado
Pós filtragem	 Filtro bolsa	 Manta difusora	 Filtro Plisado
Ajuste do insuflamento	 Dampers	 Inversor de frequência	 Chapa perurada
Sistema de segurança	 Botão de emergência	 Alerta sonoro	 Intertravamento da porta

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Para selecionar a melhor solução para cada função, foram utilizadas matrizes de seleção para cada uma das funções da matriz morfológica. Em cada matriz de seleção podemos identificar a solução selecionada, bem como a principal razão da decisão:

- Estrutura do equipamento, Quadro 7;
- Solução selecionada: Estrutura metálica;
- Razão: Padrão John Deere.

Quadro 6 - Matriz de seleção da estrutura do equipamento.

Matriz de Seleção - Estrutura do Equipamento									
Vs	Variantes de solução (Vs) avaliadas por critério de seleção							DECISÃO	
	(+ Sim							(+ Persista com a solução	
	(-) Não							(-) Elimine a solução	
	(?) Falta informações							(?) Coletar informações	
	(!) Checar lista de requisitos							(!) Mudar lista de requisitos	
	Compatibilidade garantida								
	Atende a demanda da lista de requisitos								
	Realizável em princípio?								
	Dentro dos custos permitidos?								
	Incorpora medida de segurança direta?								
Preferida pelos Projetistas?									
Informação adequada?									
Indicar razões									
A	B	C	D	E	F	G	Padrão John Deere		
Estrutura metálica	+	+	+	+	+	+	Padrão John Deere		+
Alvenaria	-								
Polímero	+	+	+	+	+	-			

Fonte Desenvolvido pelo autor.

- Sistema de exaustão, Quadro 8;
- Solução selecionada: Ventilador centrífugo;
- Razão: É o único que atende a vazão.

Quadro 7 - Matriz de seleção do sistema de exaustão.

Matriz de Seleção - Sistema de Exaustão									
Vs	Variantes de solução (Vs) avaliadas por critério de seleção							DECISÃO	
	(+ Sim							(+ Persista com a solução	
	(-) Não							(-) Elimine a solução	
	(?) Falta informações							(?) Coletar informações	
	(!) Checar lista de requisitos							(!) Mudar lista de requisitos	
	Compatibilidade garantida								
	Atende a demanda da lista de requisitos								
	Realizável em princípio?								
	Dentro dos custos permitidos?								
	Incorpora medida de segurança direta?								
Preferida pelos Projetistas?									
Informação adequada?									
Indicar razões									
A	B	C	D	E	F	G	Indicar razões		
Ventilador axial	-						Não atende a vazão		
Ventilador centrífugo	+	+	+	+	+		Atende a vazão		+
Natural	-						Não atende a vazão		

Fonte Desenvolvido pelo autor.

- Sistema de ajuste da exaustão, Quadro 9;
- Solução selecionada: Chapa perfurada;
- Razão: Baixo custo;

Quadro 8 - Matriz de seleção do sistema de ajuste da exaustão.

Matriz de Seleção - Sistema de Ajuste da Exaustão								
Vs	Variantes de solução (Vs) avaliadas por critério de seleção						DECISÃO	
	(+) Sim (-) Não (?) Falta informações (!) Checar lista de requisitos						(+) Persista com a solução (-) Elimine a solução (?) Coletar informações (!) Mudar lista de requisitos	
Vs	Compatibilidade garantida							
	Atende a demanda da lista de requisitos							
	Realizável em princípio?							
	Dentro dos custos permitidos?							
	Incorpora medida de segurança direta?							
	Preferida pelos Projetistas?							
	Informação adequada?							
	Indicar razões							
A	B	C	D	E	F	G		
Dampers	+	+	+	-				Não há espaço
Inversor de frequência	+	+	+	+	-			Alto custo
Chapa perfurada	+	+	+	+	+			Baixo custo

Fonte Desenvolvido pelo autor.

- Sistema de ajuste da insuflamento, Quadro 10;
- Solução selecionada: Ventilador centrífugo;
- Razão: Único que atende a vazão;

Quadro 9 - Matriz de seleção do sistema de insuflamento.

Matriz de Seleção - Sistema de insuflamento								
Vs	Variantes de solução (Vs) avaliadas por critério de seleção						DECISÃO	
	(+) Sim (-) Não (?) Falta informações (!) Checar lista de requisitos						(+) Persista com a solução (-) Elimine a solução (?) Coletar informações (!) Mudar lista de requisitos	
Vs	Compatibilidade garantida							
	Atende a demanda da lista de requisitos							
	Realizável em princípio?							
	Dentro dos custos permitidos?							
	Incorpora medida de segurança direta?							
	Preferida pelos Projetistas?							
	Informação adequada?							
	Indicar razões							
A	B	C	D	E	F	G		
Ventilador axial	-							Não atende a vazão
Ventilador centrífugo	+	+	+	+	+			Atende a vazão
Natural	-							Não atende a vazão

Fonte Desenvolvido pelo autor.

- Sistema de pré filtragem, Quadro 11;
- Solução selecionada: Filtro bolsa;
- Razão: Necessita de menor espaço que as outras soluções;

Quadro 10 - Matriz de seleção do sistema de pré filtragem.

Matriz de Seleção - Sistema de Pré filtragem									
Vs	Variantes de solução (Vs) avaliadas por critério de seleção (+) Sim (-) Não (?) Falta informações (!) Checar lista de requisitos						DECISÃO (+) Persista com a solução (-) Elimine a solução (?) Coletar informações (!) Mudar lista de requisitos		
	Compatibilidade garantida								
	Atende a demanda da lista de requisitos								
	Realizável em princípio?								
	Dentro dos custos permitidos?								
	Incorpora medida de segurança direta?								
	Preferida pelos Projetistas?								
	Informação adequada?								
	Indicar razões								
	A	B	C	D	E	F	G		
Filtro Bolsa	+	+	+	+	+			Espaço	+
Filtro Manta	+	-							
Filtro Plisado	+	-							

Fonte Desenvolvido pelo autor.

- Sistema de pós filtragem, Quadro 12;
- Solução selecionada: Filtro manta;
- Razão: Melhor distribuição do ar;

Quadro 11 - Matriz de seleção do sistema de pós filtragem.

Matriz de Seleção - Sistema de Pós filtragem									
Vs	Variantes de solução (Vs) avaliadas por critério de seleção (+) Sim (-) Não (?) Falta informações (!) Checar lista de requisitos						DECISÃO (+) Persista com a solução (-) Elimine a solução (?) Coletar informações (!) Mudar lista de requisitos		
	Compatibilidade garantida								
	Atende a demanda da lista de requisitos								
	Realizável em princípio?								
	Dentro dos custos permitidos?								
	Incorpora medida de segurança direta?								
	Preferida pelos Projetistas?								
	Informação adequada?								
	Indicar razões								
	A	B	C	D	E	F	G		
Filtro Bolsa	+	-							
Filtro Manta	+	+	+	+	+		+	Melhor distribuição do ar	+
Filtro Plisado	+	-							

Fonte Desenvolvido pelo autor.

- Sistema de ajuste do insuflamento, Quadro 13;
- Solução selecionada: Inversor de frequência;
- Razão: Atende o requisito fácil de ajustar;

Quadro 12 - Matriz de seleção do sistema de ajuste do insuflamento.

Matriz de Seleção - Ajuste do Insuflamento									
Vs	Variantes de solução (Vs) avaliadas por critério de seleção (+) Sim (-) Não (?) Falta informações (!) Checar lista de requisitos							DECISÃO (+) Persista com a solução (-) Elimine a solução (?) Coletar informações (!) Mudar lista de requisitos	
	Compatibilidade garantida								
	Atende a demanda da lista de requisitos								
	Realizável em princípio?								
	Dentro dos custos permitidos?								
	Incorpora medida de segurança direta?								
	Preferida pelos Projetistas?								
	Informação adequada?								
	Indicar razões								
	A	B	C	D	E	F	G		
Dampers	+	-							
Inversor de frequência	+	+	+	+	+	+	+	Fácil Ajustar	+
Chapa perfurada	+	-							

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

- Sistema de Segurança, Quadro 14;
- Solução selecionada: Intertravamento da porta com chave de segurança;
- Razão: Bloqueia o acesso e só permite acionamento com a porta fechada;

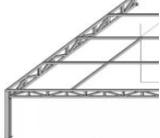
Quadro 13 - Matriz de seleção do sistema de segurança.

Matriz de Seleção - Sistema de Segurança									
Vs	Variantes de solução (Vs) avaliadas por critério de seleção (+) Sim (-) Não (?) Falta informações (!) Checar lista de requisitos							DECISÃO (+) Persista com a solução (-) Elimine a solução (?) Coletar informações (!) Mudar lista de requisitos	
	Compatibilidade garantida								
	Atende a demanda da lista de requisitos								
	Realizável em princípio?								
	Dentro dos custos permitidos?								
	Incorpora medida de segurança direta?								
	Preferida pelos Projetistas?								
	Informação adequada?								
	Indicar razões								
	A	B	C	D	E	F	G		
Botão de emergência	+	+	+	+	+	+			
Alerta sonoro	-								
Intertravamento da porta	+	+	+	+	+	+	+	Bloqueia o acesso	+

Fonte Desenvolvido pelo autor.

Ao final da avaliação dos princípios de solução tem-se uma nova matriz morfológica, Figura 15, agora já com as soluções que melhor atendem as funções, destacado em vermelho na figura abaixo, formando a concepção final.

Figura 15 - Matriz Morfológica - Concepção Final.

Função	Princípios de Solução		
Estrutura do equipamento	 Estrutura metálica	 Alvenaria	 Polímero
Sistema de Exaustão	 Ventilador axial	 Ventilador Centrífugo	 Natural
Ajuste da exaustão	 Dampers	 Inversor de frequência	 Chapa perurada
Sistema de insuflamento	 Ventilador axial	 Ventilador Centrífugo	 Natural
Pré filtragem	 Filtro bolsa	 Filtro Manta	 Filtro Plisado
Pós filtragem	 Filtro bolsa	 Manta difusora	 Filtro Plisado
Ajuste do insuflamento	 Dampers	 Inversor de frequência	 Chapa perurada
Sistema de segurança	 Botão de emergência	 Alerta sonoro	 Intertravamento da porta

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

3.2.3 Definição da arquitetura

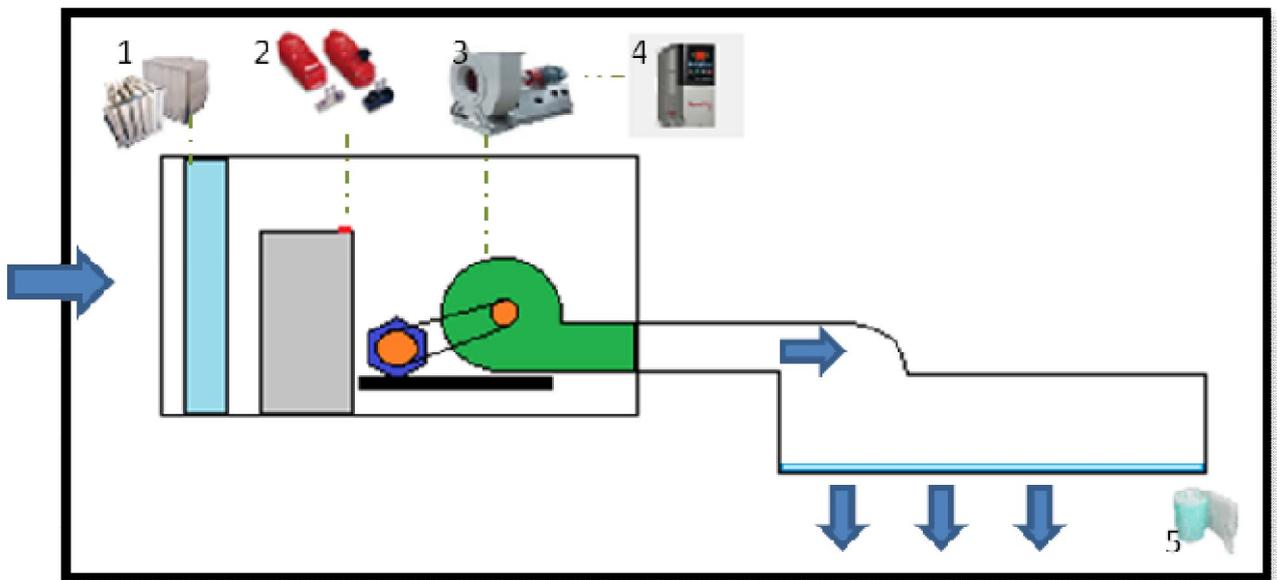
Após selecionados os princípios de seleção, a arquitetura final pode ser melhor dividida em dois principais sistemas:

Sistema de insuflamento;

Sistema de exaustão;

O layout preliminar do sistema de insuflamento que tem a função de injetar ar limpo é ilustrado na Figura 16:

Figura 16 - Arquitetura do conjunto de insuflamento.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

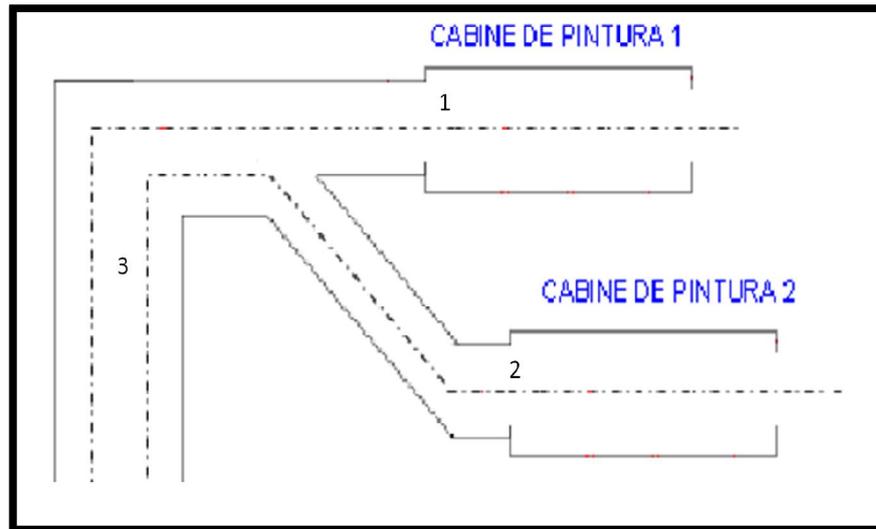
Onde:

- 1) Pré filtragem por filtro bolsa;
- 2) Sistema de segurança por chave de segurança;
- 3) Ventilador centrífugo;
- 4) Inversor de frequência, para variação de velocidade;
- 5) Sistema de pós filtragem;

A Figura 17 mostra o layout preliminar do sistema de exaustão, que é responsável por expulsar o ar diluído para fora do sistema, a Figura 17 mostra os locais de extração dados por:

- 1) Silueta da cabine 1;
- 2) Silueta da cabine 2;
- 3) Canal de exaustão da zona de evaporação;

Figura 17 - Pontos de exaustão de ar.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

3.2.4 Seleção da concepção

Para determinar a vazão de ar necessária o sistema foi considerado um sistema de ventilação diluidor para evitar fogo ou explosão. Conforme estudado no referencial teórico, o objetivo desse sistema é manter o nível de concentração de vapores inflamáveis em um nível inferior ao LIE (limite inferior de explosividade), onde o fluxo de ar deve fornecer a ventilação mínima dada pela Equação (2):

(2)

$$Q \left(\frac{m^3}{h} \right) = \left(\frac{(22,4 \times Pe \times 100 \times C \times S)}{P_m \times LIE \times B} \right)$$

Q = Vazão mínima de ar limpo;

C = Coeficiente de segurança entre 4 e 12;

Pe = Peso específico

S = Litros/hora do solvente a diluir;

LIE = Limite Inferior Explosividade % (tabelado);

B = Constante igual a 1 para temperaturas até 120 °C. Para temperaturas superiores deve ser tomado =0,7;

Para definir o coeficiente de segurança (K), aplicamos a norma API RP505 que trata de recomendações de instalações elétricas para áreas classificadas, a qual considera uma área como adequadamente ventilada, se a taxa de ventilação existente no ambiente seja suficiente para diluir e manter a concentração de vapores

explosivos menor que 25% de seu limite inferior de explosividade, dessa forma temos um coeficiente de segurança de 4 vezes.

Considerando que a tinta aplicada nesse processo é composta por aproximadamente 56% de sólidos, o que significa que 44% do volume aplicado são solventes e que o volume médio de tinta aplicada no sistema, obedece uma taxa de 68 litros por hora. O que nos dá uma taxa de evaporação de solvente conforme Equação (3):

(3)

$$\begin{aligned} \text{Evaporação de solvente (l/h)} &= 0,44 \times 68l \\ \text{Evaporação de solvente} &= 29,92l/h \end{aligned}$$

Para determinação do limite inferior de explosividade (C = Concentração admissível do poluente) o vapor solvente considerado foi o xileno, que conforme Anexo A, seu LIE é de 1% do volume.

Aplicando a teoria citada no referencial teórico temos como solução a Equação (4):

(4)

$$\begin{aligned} Q \left(\frac{m^3}{h} \right) &= \left(\frac{(22,4 \times Pe \times 100 \times C \times S)}{Pm \times LIE \times B} \right) \\ Q \left(\frac{m^3}{h} \right) &= \left(\frac{(22,4 \times 0,881 \times 100 \times 4 \times 29,92)}{106,16 \times 1 \times 1} \right) \\ Q &= 2159 \frac{m^3}{h} \end{aligned}$$

Dessa forma temos a vazão necessária de 2.159 m³/h de ar para manter o ambiente fora da zona de explosividade.

Outro requisito é que o sistema não carregue partículas de tinta da cabine para a zona de evaporação, dessa forma é necessário que a zona de evaporação possua uma pressão positiva em relação a cabine de pintura. De acordo com Gaspar (2010), essa pressão deve gerar uma velocidade média de 0,3m/s através das siluetas das cabines, gerando uma vazão de 10.600 m³/h por cabine.

Dessa forma temos como vazão total na exaustão o somatório das vazões de exaustão do sistema conforme mostra a Equação (5):

- 20.000 m³/h; vazão da exaustão do flash off.
- 10.600 m³/h; vazão da silueta da cabine I.
- 10.600 m³/h; vazão da silueta da cabine II.

(5)

$$\sum_{Vazões} = 20000 + 10600 + 10600$$

$$\sum_{Vazões} = 41200m^3/h$$

Com essa taxa de renovação de ar o sistema atende as normas mencionadas, superando a vazão mínima necessária para manter o ambiente fora da faixa potencial explosiva, bem como, atende as condição de funcionamento exigida pelo sistema.

3.2.5 Concepção final

Após toda análise do projeto temos como concepção final, a melhor solução para cada função definida no projeto conceitual onde:

Estrutura do equipamento: deve ser uma estrutura metálica formada por vigas de perfil “I”, cujas paredes devem ser formadas de chapas galvanizadas, atendendo os padrões do sistema atualmente instalado.

Sistema de Exaustão: será mantido o atual sistema, composto por um ventilador centrífugo acionado por um motor elétrico através de polias e correias, cuja vazão nominal é de 20.000m³/h.

Ajuste da exaustão: o sistema de ajuste da exaustão será com chapas perfuradas, aproveitando a estrutura atual do sistema.

Sistema de insuflamento: o sistema atual de insuflamento deve ser eliminado e substituído por um ventilador centrífugo acionado por um motor elétrico através de polias e correia, O conjunto deve ter uma vazão nominal de no mínimo 41200m³/h.

Pré filtragem: O sistema de pré filtragem deve ser composto por filtros bolsa, pois apresentam maior área de filtragem, ocupando menor espaço. Para atender os níveis de qualidade do ar exigidos pelo sistema, os filtro de ar devem seguir a DIN

24185 ou EUROVENT 4/5 EU-6 sendo filtros multibolsa auto sustentável e termo soldado isento de costuras com elemento vedante na moldura, dimensão de 593x593x600mm e vazão de 4.250m³/h.

Pós filtragem: o sistema de pós filtragem será composto por filtros manta difusora pois além de filtrar tem a função de distribuir uniformemente o fluxo de ar, evitando que esse gere problemas de qualidade nas peças recém pintadas. Estes filtros seguem a norma DIN 24185 ou EUROVENT 4/5 EU-5, classe conforme F5, resistência térmica mínima de 100°C, resistência a chama conforme DIN 53438 F1. Filtro tipo manta com meio filtrante em fibras sintética impregnado com adesivo não secativo e inerte, dimensões de 1.000 x 6.500mm, vazão 1.800m³/h/m².

Ajuste do insuflamento: O ajuste da vazão do insuflamento será realizado através de um inversor de frequência, pois além de proporcionar regulação rápida e precisa, ainda propicia economia de energia, uma vez que faz com que o motor trabalhe com menos potência.

Sistema de segurança: O sistema de segurança deve evitar o acesso de pessoas ao sistema quando o ventilador estiver operando. Para essa aplicação deve ser utilizada uma chave de segurança que não permite a abertura da porta enquanto o equipamento está em funcionamento.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A concepção final detalhada no capítulo anterior atende todos os requisitos importantes e muito importantes levantados na fase informacional conforme descrição a seguir:

Confiabilidade maior que 98%: os materiais e conjuntos indicados na concepção final são conceitos já testados e aprovados pela *John Deere*.

Completo: O projeto atende a todos os requisitos importantes e muito importantes;

Utilizar marcas padrão *John Deere*: Todos os componentes indicados seguem as marcas padrão *John Deere*.

Baixo custo de Manutenção: Os únicos pontos que necessitam de manutenção periódica são os filtros, que devem ser substituídos quando indicam saturação. Os mancais que devem ser lubrificados conforme manual do fabricante. Os componentes devem ser normatizados e aprovados pela *John Deere*, de acordo com os padrões, o que garante a confiabilidade e baixo custo de manutenção.

Fácil regulagem: Para facilitar a regulagem, o sistema de insuflamento foi desenvolvido com inversor de frequência para permitir a regulagem da rotação do ventilador e conseqüentemente variando a vazão de ar do sistema conforme necessário.

Atender as normas vigentes: Todas as normas citadas no referencial teórico que tem ligação com a atividade foram devidamente consideradas para definir a concepção final do produto.

Tempo de operação: o equipamento pode ser operado 24h por dia, 7 dias por semana, uma vez que não necessita de intervenções nem eventuais *setups*.

Dimensões adequadas: Para dimensionamento do sistema foram consideradas as necessidades de ar para atendimento das normas, bem como para obter correto balanceamento de ar no sistema.

Fácil Ajustar: Uma vez ajustada a exaustão não necessita mais ajustes, dessa forma qualquer necessidade de ajuste deve ser feita no sistema de insuflamento, cujo ajuste é contemplado por inversor de frequência facilmente operado.

Fácil operar: A operação do sistema será de simples acionamento de um botão no painel elétrico, pois o sistema só necessita ser ligado ao iniciar a pintura e desligado no final do processo.

Filtragem: A filtragem atende as especificações da *John Deere*, uma vez que os filtros utilizados são os mesmos das cabines de pintura, para garantir a mesma qualidade de ar.

4.1 ORÇAMENTO PRÉVIO

O orçamento prévio tem por objetivo validar ou não o projeto. Para previsão de investimento foram considerados os itens que já são possíveis identificar com a conclusão do projeto conceitual, dessa forma os principais itens que compõem a concepção final do projeto foram orçados gerando um total de aproximadamente R\$ 28.110,89, conforme Quadro 14.

Quadro 14 - Orçamento prévio

Item	Fornecedor	Valor unitário	Qtd	Total
Filtro (Pré Filtragem)	<i>Veco flow</i>	R\$ 241,48	10	R\$ 2.414,80
Filtro (Pós Filtragem)	<i>Veco flow</i>	R\$ 128,06	4	R\$ 512,24
Conjunto Ventilador e Motor	Otam	R\$ 20.293,85	1	R\$ 20.293,85
Inversor de Frequência	Allen Bradley	R\$ 4.890,00	1	R\$ 4.890,00
Total				R\$ 28.110,89

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Além dos itens considerados nesse orçamento ainda é necessário a conclusão do projeto detalhado, para determinar o orçamento final para implantação do projeto. O projeto detalhado ainda deve considerar o dimensionamento dos duto, estruturas e demais componentes necessários para atender a função global do equipamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da pesquisa que compõem a revisão de literatura, foram possíveis identificar as condições necessárias para o correto dimensionamento do projeto, compreender o real problema do projeto, como tal problema ocorre e qual a maneira de solucioná-lo através da ventilação. No mesmo capítulo encontra-se o processo de desenvolvimento de novos produtos que serviu para compreender a forma de encarar o problema para encontrar a melhor solução para este.

A aplicação dos métodos estudados na revisão da literatura permitiu selecionar a melhor solução que atendeu a todos os requisitos do projeto, tendo em vista que com a implantação desse projeto o fluxo de ar entre a cabine de pintura e a zona de evaporação fica regularizado, de acordo com os requisitos encontrados na revisão da literatura. Considerando que para fins de redimensionamento do sistema foram analisadas todas as normas relacionadas a espaços confinados e áreas potencialmente explosivas. Temos como resultado desse projeto a solução para 19% dos problemas de qualidade na pintura, uma vez que o projeto garante que a névoa de tinta gerada na cabine de pintura, permaneça nesse ambiente.

Tendo em vista a importância da implantação desse projeto, como proposta para um próximo trabalho fica o desafio de concluir o detalhamento e execução desse projeto, uma vez que se mostrou viável, considerando o orçamento prévio apresentado nos resultados do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, D. C. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Editora Saraiva, 2006.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. *API RP505 Recommended practice for classification of locations for electrical installations at petroleum facilities classified as Class I, Zone 0, Zone 1 and zone 3.* Washington, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; **NBR IEC 60079-10: Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Parte 10 - Classificação de áreas.** Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; **NR 33: Segurança e saúde em espaços confinados.** Rio de Janeiro, 2006.
- BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos.** 3. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2011.
- BEITZ, W. *et al.* **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos; método e aplicações.** 6. ed. São Paulo Edgard Blücher, 2005.
- CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R.. **Ventilação industrial.** Florianópolis: Editora UFSC, 1999.
- COSTA, E. C.; **Ventilação.** São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO. **Tratamento térmico; tratamento de superfície.** São Paulo: Editora Globo, 1996.
- GASPAR, M. **Relatório de avaliação do sistema de ventilação** –Porto Alegre: *Veco Flow*, 2010. (Relatório Técnico apresentado a *John Deere*, Horizontina).
- GUIMARÃES, F. A. ; MESQUITA, A. L. S. ; NEFUSSI, N. . **Engenharia de ventilação industrial.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1977.
- LIMA, A. B. G. ; QUELHAS O. L.G.; SERRÃO, L. C. S.; **Os riscos dos trabalhos em espaços confinados** Disponível, em < Disponível, em <<http://pt.scribd.com/doc/36143431/Apostila-01-Tintas-e-Vernizes>>. Acesso em 18 out. 2012.>. Acesso em 18 out. 2012.
- MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara S.A., 1988.
- MANTOVANI, C. A. Metodologia de projeto de produto. Faculdade Horizontina 2011. Baseado em REIS, A. V. Desenvolvimento de concepção para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas. Florianópolis. 2003. Tese – PPGEM – UFSC. Trabalho não publicado.
- MARTINS, P.; Apostila 01_Tintas e Vernizes. Disponível, em <<http://pt.scribd.com/doc/36143431/Apostila-01-Tintas-e-Vernizes>>. Acesso em 18 out. 2012.

SOLER E PALAU; **Ventilação em ambientes explosivos I**. Disponível, em <http://www.solerpalau.pt/formacion_01_01.html>. Acesso em 08 set. 2012.

SOLER E PALAU; **Ventilação em ambientes explosivos II**. Disponível, em <http://www.solerpalau.pt/formacion_01_01.html>. Acesso em 08 set. 2012.

WOODS OF COLCHESTER LTDA . **Guía práctica de la ventilación**. Barcelona: Editora Blume, 1970.

ANEXO A – TABELA DE LIMITE DE EXPLOSIVIDADE

Matérias	Peso molecular	Peso específico kg/m ³	Limites de explosividade Porcentagem (%) em volume		Máxima concentração MAC	
			Inferior LIE	Superior LSE	p.p.m.	mg/m ³
Dicloroetileno	96,95	1,291	9,7	12,8	5	20
Diclorometano	98,97	1,257	6,2	15,9	50	174
Dicloro de propileno	112,99	1,159	3,4	14,5	75	347
Disulfido de carbono	76,13	1,263	125	50	-	-
Estireno	104,14	0,903	1,1	6,1	50	213
Éter etílico	74,12	0,713	-	-	400	1200
Etoxietano	90,12	0,931	2,6	15,7	5	18
Formaldeído	30,03	0,815	7	73	5	6
Formiato de etilo	74,08	0,917	2,75	16,4	100	303
Formiato de metilo	60,05	0,974	4,5	20	100	246
Fosfato de hidrogénio	34	1,146	-	-	0,3	0,4
Gasolina	86	0,68	13	6	300	890
Heptano	100,2	0,684	1,1	6,7	400	1640
Hexano	86,17	0,66	1,8	7,4	100	360
Metanol	34,04	0,792	6,72	36,5	200	260
Metilpropilcetona	86,13	0,816	1,55	8,15	-	-
Monóxido de carbono	28,1	0,968	12,5	74,2	50	55
Octano	114,22	0,703	0,95	3,2	300	1450
Óxido de etileno	44,05	0,887	3	80	1	1,8
Ozono	48	1,658	-	-	0,1	0,2
Pentano	72,15	0,625	1,4	7,8	600	1800
Percloroetileno	165,85	1,624	Não inflamável		100	670
Propano	44,09	1,554	2,12	9,35	-	-
Sulfuro de carbono	76,13	1,263	125	50	20	60
Sulfureto de hidrogénio	34,08	1,189	4,3	45,5	10	14
Tetracloruro de carbono	153,84	1,595	Não inflamável		10	65
Tolueno	93,12	0,866	1,27	6,75	100	375
Tricloroetileno	131,4	1,466	No inflamable		100	535
Xileno	106,16	0,881	1	6	100	435