

IVAN KENZO TAKEDA

AUXÍLIO NA TOMADA DE DECISÃO NA COMPRA DE UMA  
MÁQUINA DE USINAGEM A LASER

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Maurício Delamaro

Guaratinguetá

2010

T136a	Takeda, Ivan Kenzo Auxílio na tomada de decisão na compra de uma máquina de usinagem a laser / Ivan Kenzo Takeda. - Guaratinguetá: [s.n.], 2010 57 f.: il. Bibliografia: f. 55 - 57  Trabalho de Graduação em Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2010 Orientador: Prof. Dr. Maurício Delamaro  1. Processo decisório 2. Peças de máquinas - Indústria I. Título
-------	--

CDU 65.012.4



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

**AUXÍLIO NA TOMADA DE DECISÃO NA COMPRA DE UMA  
MÁQUINA DE USINAGEM A LASER  
IVAN KENZO TAKEDA**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO PARA A OBTENÇÃO  
DO DIPLOMA DE

**GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Maurício Delamaro  
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. Valério Salomon  
UNESP-FEG

Eng. Carlos Alberto Ushizima  
Iochpe - Maxion

Dezembro de 2012

**DADOS CURRICULARES****IVAN KENZO TAKEDA**

NASCIMENTO	02.47.1946 – SÃO BERNARDO DO CAMPO/ SP
FILIAÇÃO	Claudio Riuti Takeda Marlene Yoshikko Nakajima Takeda
2006/2010	Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista

Dedico este trabalho aos meus pais e amigos, que sempre me apoiaram e tiveram presentes em todos os momentos da minha vida, me ajudando nas horas de dificuldade, e participando nos momentos felizes e de realizações.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais que sempre me apoiaram em todos os anos da minha vida, permitindo uma vida de dedicação e realizações.

aos meus amigos, que sempre me ajudaram e colaboraram para a formação da pessoa que sou hoje;

aos engenheiros Cesário, e Carlos Ushizima que sempre tiveram a paciência de me auxiliar nas dificuldades e dúvidas,

ao meu orientador *Prof. Dr. Maurício Delamaro*, que em muito colaborou na produção deste trabalho, estando sempre disponível para solução de dúvidas e questionamentos;

aos meus amigos de faculdade e da república, que sempre me proporcionaram um ambiente divertido e produtivo, colaborando fortemente para a minha formação pessoal;

à Universidade Estadual Paulista, por me oferecer ensino superior de qualidade, e por fim, a todos aqueles que não foram aqui mencionados, mas que com certeza colaboraram para o meu desenvolvimento.

“Os homens perdem a Saúde para juntar dinheiro e depois perdem o dinheiro para recuperar a saúde, por pensarem ansiosamente no futuro e esquecer o presente, de tal forma que acabam nem viver no presente nem no futuro. Vivem como se nunca fossem morrer e morrem como se nunca tivessem vivido”.

*Dalai Lama*

TAKEDA, I.K. **Auxílio na tomada de decisão na compra de uma máquina de usinagem a laser.** 2010. 58 f. Trabalho de Graduação (Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

## **RESUMO**

A tomada de decisão é um dos fatores mais importantes para o crescimento e o futuro, tanto de uma empresa, quanto na vida das pessoas e nas mais simples atitudes do dia a dia. Um processo decisório pressupõe opções e escolhas, e é preciso examinar todas as possibilidades para tal decisão. O presente trabalho tem como objetivo auxiliar a tomada de decisão na compra de uma máquina de usinagem a laser (LASER CUT MACHINE), utilizada principalmente para corte de chapas de aço com alta qualidade e grande precisão, requisitada na área de desenvolvimento de processo de uma empresa fabricante de autopeças e rodas. Para tanto foi utilizado o método AHP de auxílio à decisão por múltiplos critérios. E posteriormente a técnica pode ser levada em conta, e auxiliar aquisição de outros equipamentos. De início, foram analisados os critérios e as especificações mais importantes da máquina atual para a aplicação do método e posteriormente foi feita a aplicação e a análise de sensibilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** AHP, Métodos de Auxílio à Decisão, Indústria de autopeças, Máquina de usinagem a laser

TAKEDA, I.K. **Aid in decision making to buy a laser cut machine.** 2010. 58 f. Trabalho de Graduação (Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

### **ABSTRACT**

Decision making is one of the most important factors for growth and future, both from a business, as in people's life and attitudes in the simplest of everyday day. This work aims to assist decision making in buying a laser cut machine, a manufacturer of auto parts and wheels, and later this technique can be considered to acquisition of other equipment. In this case was used the AHP to aid the decision by multiple criteria. First we analyzed the most important criteria of the current machine for the application of the method and were later made the application and sensitivity analysis.

**KEYWORDS:** AHP, Decision Aid methods, autoparts industry, laser cut machine

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estruturação Hierárquica de Decisão .....	21
Figura 2 - Rodas .....	32
Figura 3 - Chassis .....	32
Figura 4 - Longarinas .....	32
Figura 5 - Estrutura Hierárquica do método AHP.....	43
Figura 7 - Inserção do objetivo principal. ....	44
Figura 8 - Critérios inseridos no EC.....	45
Figura 9 - Avaliação dos critérios. ....	45
Figura 10 - Pesos dos critérios e índice de consistência.....	46
Figura 11 - Alternativas inseridas no EC. ....	46
Figura 12 - Avaliação das máquinas em relação ao critério IHM.....	47
Figura 13 - Avaliação das máquinas em relação ao critério produtividade. ....	47
Figura 14 - Avaliação das máquinas em relação ao critério Manutenção/ Treinamento. ....	48
Figura 15 - Avaliação das máquinas em relação ao critério Segurança. ....	48
Figura 16 - Avaliação das máquinas em relação ao critério Treinamento. ....	49
Figura 17 - Resultado final do método AHP.....	49
Figura 18 - Gráfico dos critérios das alternativas.....	50
Figura 19 - Aumento da IHM para 40%. ....	51
Figura 20 - Aumento do critério segurança pra 45%. ....	51
Figura 21 - Aumento do critério treinamento para 40%. ....	51
Figura 22 - Nova Configuração dos pesos. ....	52

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Índice de Coerência Aleatória.....	24
Tabela 2 - Matriz de decisão. ....	25
Tabela 3 – Matriz de decisão complementar.....	52

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1- Problemas de tomada de decisão .....	18
Quadro 2 - matriz de comparação entre os critérios.....	22
Quadro 3 - Escala Fundamental de Saaty.....	23
Quadro 4 - Características dos Processos Avançados de Usinagem .....	29
Quadro 5 - Configuração da máquina atual.....	35
Quadro 6 - Especificações necessárias.....	37
Quadro 7 - Especificações das máquinas 1 e 2 .....	38
Quadro 8 - Especificações das máquinas 3 e 4 .....	39
Quadro 9 - Especificações das máquinas 5 e 6 .....	40

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

MCDM - *Multiple Criteria Decision Making*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. Apresentação do tema .....	13
1.2. Objetivos e Metodologia de Pesquisa.....	14
1.3. Justificativa e Relevância do tema .....	15
1.4. Estrutura do texto .....	16
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1. O Processo de Tomada de Decisão .....	17
2.1.1 Método AHP .....	19
2.1.1.1 Estruturação Hierárquica .....	21
2.1.1.2 Obtenção de prioridades.....	22
2.2. Métodos de usinagem.....	26
2.2.1 Classificação e nomenclatura dos processos mecânicos de usinagem .....	26
2.2.2 Movimentos na usinagem.....	27
2.2.3 Processos avançados de usinagem .....	28
2.2.4 Usinagem a Laser.....	30
<b>3.OBJETO DE ESTUDO .....</b>	<b>31</b>
3.1. Descrição da empresa .....	31
3.2. Máquinas de usinagem a laser .....	32
<b>4. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP.....</b>	<b>41</b>
4.1. Definição Dos Critérios Para A Tomada de Decisão .....	41
4.1.1 Descrição Dos Critérios .....	41
4.1.2 Estrutura Hierárquica .....	43
4.1.3 Julgamento dos critérios e alternativas.....	43
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
5.1 Considerações Finais .....	53
5.2 Contribuições e propostas para futuros trabalhos .....	54
<b>Bibliografia .....</b>	<b>55</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Apresentação do tema

A tomada de decisão é um dos fatores mais importantes para o crescimento e o futuro, tanto de uma empresa, quanto na vida das pessoas, nas mais simples atitudes do dia a dia. Segundo Gomes e Gomes (2009) uma decisão precisa ser tomada sempre que estamos diante de um problema que possui mais que uma alternativa para sua solução. E as consequências dessa decisão pode ser imediata, em curto prazo ou em longo prazo.

Em uma empresa a tomada decisão não depende somente de uma pessoa, mas sim de um grupo de pessoas de responsabilidade estratégica, responsáveis para determinar qual decisão a ser tomada. O processo de decisão em uma empresa ou organização deve ser estruturado e resolvido de modo formal, detalhado, consistente e transparente.

É importante para a empresa ter o conhecimento de todas as alternativas possíveis de decisão, pois pode ser que, no atual momento, a melhor proposta seja inviável, ou as outras propostas sejam de igual importância, mas de visões diferentes. Por meio de uma análise de sensibilidade das estratégias ou das alternativas, pode-se fazer a análise de variação das possibilidades.

Pelo dever de atender a múltiplos objetivos, é muito difícil tomar decisões, e as consequências podem influenciar outras pessoas, setores ou outras áreas, pois os problemas são amplos e complexos, envolvendo riscos e incertezas.

Decidir é escolher uma alternativa em um conjunto de alternativas possíveis sob a influência de pelo menos dois parâmetros conflitantes (GOMES e GOMES, 2009).

Os métodos de auxílio à decisão são ferramentas de grande valia, pois são capazes de estruturar o processo de tomada de decisão, tornando-o claro, e fazendo com que as decisões sejam mais consistentes.

## 1.2. Objetivos e Metodologia de Pesquisa

O presente trabalho tem como objetivo auxiliar a tomada de decisão na compra de uma máquina de usinagem a laser, adicionado aos critérios e métodos utilizados pelos responsáveis, para dar uma maior certeza para a compra do equipamento.

Os objetivos específicos deste trabalho estão listados a seguir:

- Analisar as características de um equipamento, para identificar quais as características críticas significativas;
- Definir os critérios junto às pessoas envolvidas para a comparação dos sistemas;
- Pelo método AHP comparar os processos;
- Analisar e apresentar os resultados obtidos pelo método AHP para o auxílio na escolha da máquina;

A Escolha do método AHP no auxílio a tomada de decisão como método foi feita a partir de estudos dos métodos de tomada de decisão e auxílio de professores doutores no assunto, que conjuntamente com o autor deste projeto, decidiram utilizar esse método por ser de grande interesse e de grande valia.

Para a definição dos critérios de maior importância, e definir sua prioridade, foram feitas reuniões com os envolvidos na aquisição da máquina, como engenheiro responsável pela compra, coordenadores, gerente, essa foi a técnica utilizada.

A metodologia utilizada foi o levantamento de artigos, livros e trabalhos acadêmicos relacionados aos temas de tomada de decisão, o método AHP e sobre corte a laser.

E posteriormente foi realizada a modelagem matemática para auxiliar à tomada de decisão pelo método AHP.

### 1.3. Justificativa e Relevância do tema

Com o crescimento da produção e o aumento da necessidade do desenvolvimento de processo, e melhoria de novas ferramentas, em que algumas dessas etapas necessitam de peças cortadas na máquina a laser em sua fase inicial de projeto, houve a necessidade de aquisição de uma nova máquina, pois a atual está sobrecarregada e, conseqüentemente, se tornando o gargalo de várias peças a serem produzidas.

Como as peças de desenvolvimento e melhorias possuem certa urgência, estas necessitam de maior atenção e cuidado em sua produção. E em muitos casos, não há uma ferramenta adequada ou fabricada para produzir tal produto, utilizando então a máquina a laser para fabricar estas peças, nessa máquina, como não há a necessidade de possuir uma ferramenta adequada para sua conformação, ou um molde específico, os volumes de produção são baixos, e como consequência, seu produto é caro.

Com a aquisição da nova máquina será possível uma melhor alocação das peças a serem produzidas, pois os tempos de fabricação nessas máquinas são mais demorados, porém com maior qualidade, ideal para a fase de desenvolvimento de novos produtos, fabricação de peças protótipo.

Para tanto a empresa não utiliza um método estruturado de tomada de decisão para a aquisição de novos equipamentos, o procedimento é feito através de análise das características de cada máquina proposta para a compra e que se enquadram nos critérios exigidos, as que possuem as melhores características requeridas são separadas para a análise, e assim é efetuada a compra.

A implementação de um método de auxílio à tomada de decisão se encaixa muito bem dentro do contexto estudado, pois permite fazer a escolha do determinado item com critérios bem estruturados, e de forma mais organizada.

Isso porque, a utilização de um método de auxílio à decisão por múltiplos critérios condiz com análise realizada atualmente, sob o ponto de vista de vários critérios, e a sugestão da melhor alternativa é feita de maneira prática e de fácil compreensão (LAZARINI, 2009). O método proposto auxilia na escolha da melhor

alternativa a ser adquirida e novos projetos podem ser apresentados como uma alternativa das práticas de tomada de decisão da empresa.

Podendo utilizar esse método como auxiliador para tomada de decisão de outros equipamentos a ser adquiridos posteriormente.

#### 1.4. Estrutura do texto

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. O capítulo 1 apresenta objetivos, metodologia, justificativa, e relevância do tema e como o texto está organizado.

No capítulo 2 é feito o embasamento teórico, na seção 2.1.1 mostra-se como é feita a análise matemática com o AHP, na Seção 2.2, apresenta a os métodos de usinagem e na Seção 2.2.3 Os processos avançados de usinagem.

No capítulo 3 é mostrado o estudo de caso, onde se faz a descrição da empresa e mostra as máquinas de usinagem a laser.

No capítulo 4 apresentam-se as análises do AHP para a atribuição de grau de importância de cada critério de decisão, mostra a estrutura hierárquica do método, e a indicação para a melhor proposta da tomada de decisão, bem como a análise de sensibilidade.

No capítulo 5 são feitas as conclusões finais do trabalho sobre o atendimento dos objetivos propostos e proposta de futuros trabalhos.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. O Processo de Tomada de Decisão

A teoria de decisão não é uma teoria descritiva ou explicativa, já que não faz parte de seus objetivos descrever ou explicar como e/ou por que as pessoas (ou instituições) agem de determinada forma ou tomam certas decisões. Ela parte do pressuposto de que os indivíduos são capazes de expressar suas preferências básicas, e são racionais, quando enfrentam situações de decisão simples.

Deparamos frequentemente, tanto em nossa vida profissional quanto privada, com problemas cuja resolução implica o que consideramos uma tomada de decisão complexa (GOMES e GOMES, 2009).

Pode-se definir tomada de decisão como um processo em que há elementos próprios de ações ou sistemas de valores tendo a objetividade como papel importante, mas não esquecendo que essa é efetuada por recursos humanos na qual a subjetividade estará presente relacionada a juízo de valores (VERALDO JR.; SALOMON; MARINS, 2008). De acordo com Saaty (2001), “a tomada de decisão é um assunto complexo, no qual as idéias e princípios aparentemente não são bem compreendidos ou praticados com uma lógica convincente”.

Segundo Shimizu (2010) os problemas na tomada de decisão podem ser classificados em três grupos; Estruturados, semi-estruturados e não estruturados.

O Quadro 1 mostra os tipos de problemas que podem ser caracterizados nos níveis da tomada de decisão.

Quadro 1- Problemas de tomada de decisão Fonte: SHIMIZU (2010)

		Níveis de Decisão			
		Operacional	Tático	Estratégico	
Tipos de Problema	Estruturado	Características	Bem definido, repetitivo	Processo definido resultado variável	Objetivo bem definido Alternativas a serem escolhidas
		Duração/frequência	Dias/mês	Mês/ano	Um a cinco anos
		Decisor Complexidade	Chefe de seção Nenhuma	Gerente Baixa	Diretoria Média
	Semi-Estruturado	Características	Bem definida, Rotina variada	Definido em vários níveis diferentes	Novos serviços e planejamentos
		Duração/frequência	Dias/Semana	Mês/ano	Anos
		Decisor Complexidade	Chefe de seção Baixa	Gerente Média	Diretoria Alta
	Não-Estruturado	Características	Rotina, sujeito a imprevistos	Não Rotineiras	Projetos
		Duração/frequência	Dias por período	<i>Ad hoc</i>	Anos
		Decisor Complexidade	Chefe de seção Média	Gerente Alta	Diretoria Muito Alta

Dias (1996) identifica duas etapas no decorrer do processo de apoio à decisão, são elas: a fase de estruturação e a fase de avaliação. A fase de estruturação representa 80% do total do problema (BAMBA e COSTA, 2000), e trata da formulação do problema e da identificação dos objetivos. Busca identificar, caracterizar e organizar os atores relevantes no processo de apoio à decisão.

A fase de avaliação pode ser dividida em uma fase de avaliação parcial das ações (alternativas) segundo cada ponto de vista (critérios) e uma fase de avaliação global considerando as diversas avaliações parciais. Para realizar a avaliação é necessário escolher um dos métodos disponíveis, tradicionalmente classificados em métodos para problemas multiatributo e multiobjetivo. (VERALDO JUNIOR; SALOMON; MARINS, 2008).

Os métodos multicritério têm sido desenvolvidos para apoiar e conduzir os decisores na avaliação e escolha das alternativas-solução, em diferentes espaços (GOMES e GOMES, 2009).

A tomada de decisão com Múltiplos Critérios (MCDM – Multiple Criteria Decision Making) se trata do estudo da inclusão de critérios conflitantes na tomada de decisão (BELDERRAIN; MARINS; PEREIRA; URBINA, 2010). A MCDM é utilizada na classificação (ranking) de soluções alternativas de problemas em uma enorme variedade de campos que inclui Finanças, Gerência Ambiental e Medicina (DOUMPOS; ZOPONIDIS, 2002).

Os métodos de apoio Multicritério procuram esclarecer o processo de decisão, tentando incorporar os julgamentos de valores dos agentes, na intenção de acompanhar a maneira como se desenvolvem as preferências, e entendendo o processo como aprendizagem (GOMES e GOMES, 2009).

Um dos métodos de MCDM mais utilizados é o AHP, e o presente trabalho abordará esse método.

### 2.1.1 Método AHP

Segundo Shimizu (2010), o método AHP (Analytic Hierarchy Process) é um método de apoio à tomada de decisão usando múltiplos critérios ou múltiplos objetivos.

Criado na Universidade da Pensilvânia pelo Professor Thomas L. Saaty desenvolveu-se uma teoria cuja aplicação reduz os estudos dos sistemas até testados a uma sequência de comparações aos pares de componentes devidamente identificados segundo o qual, o problema pode ser geralmente decomposto em níveis hierárquicos facilitando sua compreensão e avaliação (VERALDO JUNIOR; SALOMON; MARINS, 2008).

De acordo com Gomes (2007), o AHP foi um dos primeiros métodos desenvolvidos para solucionar problemas de tomada de decisão na presença de múltiplos critérios, quantitativos e qualitativos.

Segundo Shimizu (2010), este método tem sido empregado para situações de:

- Definições de Prioridades
- Avaliação de custos e benefícios;
- Alocação de recursos; mensuração de desempenho;
- Avaliação ou pesquisa de mercado;
- Determinação de requisitos;
- Decisões estratégicas;
- Planejamento e seqüenciação de atividades;
- Previsão de cenários;
- Negociação e resolução de conflitos;
- Decisões e previsões políticas ou sociais;
- Análise de decisão sob risco.

A premissa básica do AHP é que o sistema decisório deve ser definido segundo uma composição hierárquica, estruturada em vários níveis, que incluem os elementos cujas características possam ser consideradas semelhantes (IAÑEZ; CUNHA, 2006), essa estruturação facilita a compreensão do problema, e por consequência, sua avaliação (LAZARINI, 2009).

A facilidade de compreensão é devida também ao fato de que a idéia que originou o método reflete a forma pela qual a mente humana geralmente reage a um problema complexo (COITINHO, 2006).

A grande vantagem do AHP é permitir aos tomadores de decisão atribuir pesos relativos para múltiplos atributos, de forma simultânea em que realiza comparações par a par entre os mesmos (SAATY, 1980).

Segundo Armacost (1990) e Salomon; Marins; Duduch (2009) existem três passos básicos na utilização do AHP, que são:

- Estruturação Hierárquica - Descrever o problema de decisão por meio de uma hierarquia, identificando critérios e alternativos a ser analisados;

- Obtenção de prioridades - Utilizar comparações paritárias para estimar a importância relativa entre os critérios, em cada nível de hierarquia valores de desempenho para alternativas;
- Avaliação – Associação das comparações paritárias a fim de desenvolver uma avaliação geral das alternativas.

### 2.1.1.1 Estruturação Hierárquica

A estruturação de um problema AHP começa com a definição de um objetivo global (ou final) desejado. A partir do objetivo principal, definem-se os subobjetivos ou critérios numa estrutura de árvore, sendo o objetivo global a raiz (SHIMIZU, 2010).

No segundo nível estão os critérios:  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ ; no último nível hierárquico estão as alternativas, ou seja,  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$  (SALOMON; MARINS; DUDUCH, 2009).

A constituição de uma hierarquia, conforme mostrado na Figura 1 fornece entendimento de uma situação complexa, o método auxilia o tomador de decisão a ponderar se os critérios de cada nível são da mesma ordem de magnitude (COITINHO, 2006).

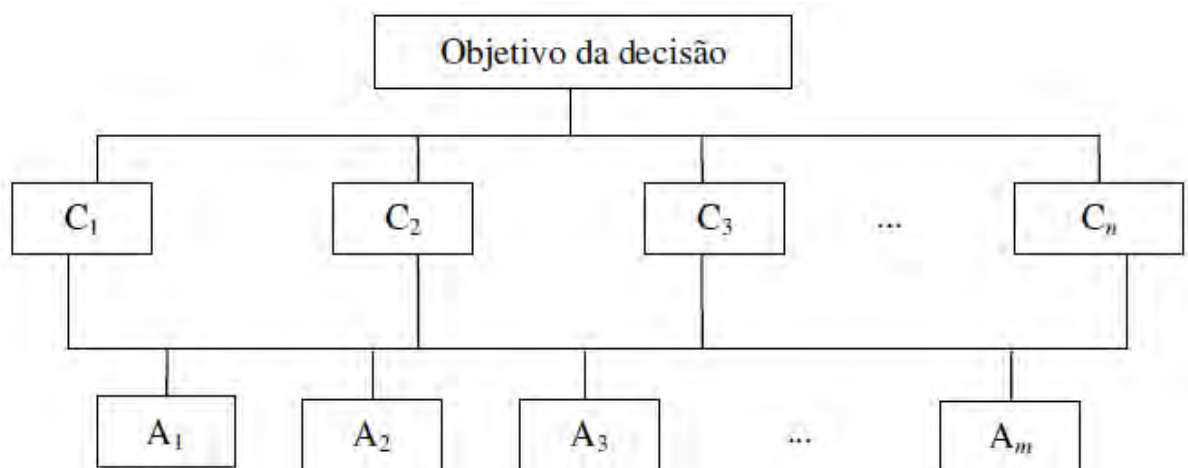


Figura 1 - Estruturação Hierárquica de Decisão

### 2.1.1.2 Obtenção de prioridades

Depois de definida a hierarquia do problema, os elementos de cada um dos níveis hierárquicos são comparados dois a dois (ROMERO, 2006). Em seguida, obtêm-se os pesos (valores de importância) para os critérios escolhidos a serem utilizados na decisão.

Isto é feito com a utilização de matrizes de comparações, como a matriz apresentada no Quadro 2 (SALOMON; MARINS; DUDUCH, 2009).

Quadro 2 - matriz de comparação entre os critérios

Critério	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_n$
$C_1$	$w_1/w_1$	$w_1/w_2$	$w_1/w_3$	...	$w_1/w_n$
$C_2$	$w_2/w_1$	$w_2/w_2$	$w_2/w_3$	...	$w_2/w_n$
$C_3$	$w_3/w_1$	$w_3/w_2$	$w_3/w_3$	...	$w_3/w_n$
...	...	...	...	...	...
$C_n$	$w_n/w_1$	$w_n/w_2$	$w_n/w_3$	...	$w_n/w_n$

Para se representar as comparações, geralmente, utiliza-se uma escala linear de 1 a 9, como indica o Quadro 3, denominada Escala Fundamental (Saaty, 1980). O vetor de pesos,  $w$ , é obtido a partir da normalização do autovetor principal da matriz de comparações.

Para os critérios quantitativos, ou seja, para aqueles em que se disponha de valores numéricos para o desempenho das alternativas, estes valores podem ser aproveitados (SALOMON; MARINS; DUDUCH, 2009).

A matriz é preenchida comparando-se o critério que aparece a esquerda da matriz com aquele que aparece na parte superior da mesma, isto para cada uma das posições da matriz que estão acima da diagonal principal (LAZARINI, 2009). Como os

elementos da diagonal principal é a comparação do elemento escolhido com ele mesmo, seus valores são unitários.

Na parte inferior da matriz (abaixo da diagonal principal), são inseridos valores inversos aos colocados na parte superior, ou seja,  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ . Dessa forma, cada par de critérios é julgado apenas uma única vez, gerando  $[n(n-1)]/2$ , para cada grupo de  $n$  elementos (ROMERO, 2006).

Quadro 3 - Escala Fundamental de Saaty Fonte: SILVA; BELDERRAIN, 2009

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância grande ou demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

O método ainda tem a vantagem de a verificação da coerência entre as comparações. Caso todas as comparações sejam coerentes entre si, então, o autovalor,  $\lambda_{max}$ , da matriz de comparações será igual a ordem da matriz,  $n$ .

A Razão de Consistência (*CR – Consistency Ratio*) é um indicador da coerência entre as comparações (SALOMON, MARINS; DUDUCH, 2009).

O cálculo da  $CR$  leva em consideração o afastamento entre  $\lambda_{\max}$  e  $n$ , ou seja ( $\lambda_{\max} - n$ ), essa diferença é medida relativamente ao número de graus de liberdade dessa matriz ( $n - 1$ ) (MORITA, 1998).

Conforme a Equação 1, proposta por Saaty, considera-se também, um erro aleatório associado à ordem da matriz, dado pelo Índice de Coerência Aleatória ( $RI - Random Consistency Index$ ), tais índices são obtidos a partir da Tabela 1.

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)RI} \quad (1)$$

Tabela 1 - Índice de Coerência Aleatória Fonte: ROMERO (2006)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,49

Inicialmente, o limite  $CR \leq 0,10$  foi proposto para que uma matriz de comparações pudesse ser considerada consistente. Contudo, a incoerência entre comparações deve servir mais como um alerta do que um fato necessariamente não desejável (SALOMON; MARINS; DUDUCH, 2009). Assim, Saaty (2001) recomenda que, para valores de  $CR$  acima de 0,20, as comparações sejam revistas.

Com os pesos dos critérios estabelecidos, o próximo passo é o estabelecimento de valores de desempenho para as alternativas. As alternativas que estão na base da hierarquia são comparadas sob o ponto de vista de um determinado critério do nível hierárquico superior (COITINHO, 2006).

Deve-se obter também um vetor,  $p$  (vetor de peso de cada alternativa segundo um critério), para cada uma das matrizes resultantes da comparação entre alternativas,

sendo este também obtido a partir da normalização do autovetor principal da cada uma das matrizes de comparações (COITINHO, 2006).

Os vetores de desempenhos das alternativas para todos os critérios compõem a matriz de decisão, **D**. Da multiplicação entre a matriz de decisão pelo vetor de peso dos critérios, **w**, obtém-se o vetor de desempenho global, ou seja, o vetor de decisão, **x** (SALOMON; MARINS; DUDUCH, 2009). A Tabela 2 mostra essa matriz de decisão.

Tabela 2 - Matriz de decisão.

Alternativa	Peso no Critério <sub>1</sub>	Peso no Critério <sub>2</sub>	Peso no Critério <sub>3</sub>	...	Peso no Critério <sub>n</sub>
A <sub>1</sub>	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	D <sub>13</sub>	...	D <sub>1n</sub>
A <sub>2</sub>	D <sub>21</sub>	D <sub>22</sub>	D <sub>23</sub>	...	D <sub>2n</sub>
A <sub>3</sub>	D <sub>31</sub>	D <sub>32</sub>	D <sub>33</sub>	...	D <sub>3n</sub>
...	...	...	...	...	...
A <sub>m</sub>	D <sub>m1</sub>	D <sub>m2</sub>	D <sub>m3</sub>	...	D <sub>mn</sub>

A melhor alternativa mostrada pelo método se dá ao maior valor de **x**, porém, cabe ao tomador de decisão acatar com tal demonstrativo.

Para a aplicação do AHP no estudo de caso proposto no presente trabalho foi utilizado o software *Expert Choice* 11.5, versão estudantil. Tal *software* é um sistema de suporte que possibilita ao tomador de decisão visualizar a estrutura multifacetada na forma de hierarquia e permite que o julgamento paritário seja realizado de maneira interativa (LIEBOWITZ, 1990).

O *software* modela automaticamente as matrizes de comparação e realiza os cálculos conforme a hierarquia definida pelo usuário. Qualidades como interatividade e fácil visualização da estrutura de decisão, foram os motivos pelos quais o *Expert Choice* foi utilizado, essas qualidades facilitaram a compreensão dos colaboradores acerca do método AHP (LAZARINI, 2009).

## 2.2. Métodos de usinagem

Segundo Ferraresi (1970), o estudo das operações dos materiais, distinguem em duas classes: As operações de usinagem e as operações de conformação.

As operações de usinagem são aquelas que, ao conferir à peça, a forma ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco.

Entende-se como Operação de conformação, aquela que visam conferir à peça a forma ou as dimensões, ou o acabamento específico, ou ainda qualquer combinação destes três itens, através da deformação plástica do metal (FERRARESI, 1970).

### 2.2.1 Classificação e nomenclatura dos processos mecânicos de usinagem

Segundo Ferraresi (1970) as usinagens são classificadas por:

Torneamento – Processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes.

Aplainamento – Processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de superfícies regradadas, geradas por um movimento retilíneo alternativo da peça ou da ferramenta.

Furação – Processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de um furo geralmente cilíndrico numa peça.

Alargamento – Processo mecânico de usinagem destinado ao desbaste ou ao acabamento de furos cilíndricos ou cônicos (FERRARESI, 1970).

Mandrillamento – Processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou várias ferramentas de barra.

Fresamento/ Brochamento - Processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies quaisquer.

Roscamento - Processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de filetes, por meio da abertura de um ou vários sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução.

Tamboreamento - Processo mecânico de usinagem no qual as peças são colocadas no interior de um tambor rotativo, juntamente ou não com materiais especiais, para serem rebarbadas ou receberem um acabamento.

Retificação - Processo de usinagem por abrasão destinada à obtenção de superfícies com auxílio de ferramenta abrasiva de revolução.

### 2.2.2 Movimentos na usinagem

Os movimentos entre ferramenta e peça durante a usinagem são aquelas que permitem a ocorrência do processo de usinagem.

Os movimentos são classificados como ativos e passivos.

Os movimentos ativos são aqueles que promovem remoção de material ao ocorrerem (DINIZ, 2006).

São eles:

Movimento de corte – é o movimento entre a ferramenta e a peça que, sem a ocorrência concomitante do movimento de avanço, provoca remoção de cavaco durante uma única rotação ou um curso da ferramenta.

Movimento de avanço – é o movimento entre a ferramenta e a peça que, juntamente com o movimento de corte, possibilita uma remoção contínua ou repetida do cavaco, durante várias rotações ou cursos da ferramenta.

Movimento efetivo de corte – é o movimento entre a ferramenta e a peça, a partir do qual resulta o processo de usinagem.

Os movimentos passivos são aqueles que, apesar de fundamentais para a realização do processo de usinagem, não promovem remoção de material ao ocorrerem.

Movimento de ajuste – é o movimento entre a ferramenta e a peça, no qual é predeterminada a espessura da camada de material a ser removida.

Movimento de correção – é o movimento entre a ferramenta e a peça, empregado para compensar alterações de posicionamento.

Movimento de aproximação – é o movimento entre a ferramenta e a peça, com o qual a ferramenta, antes do início da usinagem, é aproximada da peça.

Movimento de recuo – é o movimento entre a ferramenta e a peça, com o qual a ferramenta, após a usinagem, é afastada da peça.

Todos esses movimentos são de extrema importância para a usinagem correta, e associada ao tempo resultam no tempo total de produção.

### 2.2.3 Processos avançados de usinagem

Os processos de usinagem convencionais removem material por formação de cavaco, abrasão ou microusinagem (MARCICANO, 2001). Em alguns casos, os processos de usinagem convencional não conseguem atender a necessidade, são eles:

- Dureza e resistência do material elevadas (acima de 400 HB) ou o material é muito frágil;
- A peça é muito flexível, ou delicada para resistir às forças de usinagem, ou as peças são de difícil fixação;
- Forma da peça é complexa, incluindo características externas e internas ou furos de pequeno diâmetro em bicos injetores de combustível;
- Requisitos de acabamento superficial e tolerância dimensional são mais rigorosos;
- Aquecimento e tensões residuais na peça não são desejados ou permitidos.

Com essa dificuldade de usinagem, as necessidades levaram ao desenvolvimento de diferentes métodos de remoção de material, baseados em processos químicos, elétricos, laser, entre outros.

Iniciado nos anos 90, essas tecnologias foram chamadas de não convencionais, e atualmente oferecem mais vantagens técnicas e econômicas que os processos tradicionais (MARCICANO, 2001).

O Quadro 4 mostra alguns desses métodos não tradicionais.

Quadro 4 - Características dos Processos Avançados de Usinagem (MARCICANO 2002)

Processo	Características	Parâmetros de Processo e taxas de remoção de material ou velocidades de corte típicas
Usinagem Química (CM)	Cavidades rasas (até 12 mm) em superfícies planas ou curvadas; corte de chapas finas, baixo custo de ferramentas e equipamentos; adequado para lotes pequenos	0,0025 a 0,1 mm/min
Usinagem Eletroquímica (ECM)	Formas complexas com cavidades profundas; a maior taxa de remoção de material entre os processos não tradicionais; equipamentos e ferramentas caras; alto consumo de energia; lotes médios e grandes	V: 5 a 25 DC; A: 1,5 a 8 A/mm <sup>2</sup> ; 2,5 a 12 mm/min (dependendo da densidade de corrente)
Retificação Eletroquímica (ECG)	Corte e afiação de materiais duros, tais como ferramentas de carboneto de tungstênio; taxa de remoção de material maior que a da retificação.	A: 1 a 3 A/mm <sup>2</sup> ; 25 mm <sup>3</sup> /s
Eletroerosão (EDM)	Conformação e corte de peças complexas feitas de materiais duros, podem provocar danos na superfície, também utilizada como retificação e processo de corte; equipamentos e ferramentas caras.	V: 50-380; A: 0,1 a 500; 300 mm <sup>3</sup> /min.
Usinagem por Laser (LBM)	Corte e furação em materiais de pequena espessura; zona termicamente afetada; não necessita vácuo; equipamentos caros; alto consumo de energia.	0,5 a 7,5 m/min.
Usinagem por Feixe de Elétrons (EBM)	Corte e furação em materiais de pequena espessura; furos de pequeno diâmetro; zona termicamente afetada; necessita vácuo; equipamento caro.	1 a 2 mm <sup>3</sup> /min.
Usinagem por Jato d' Água (WJM)	Corte de todos os tipos de materiais não metálicos. Adequado para corte de contornos; não afeta termicamente o material; barulhento.	
Usinagem por Jato d' Água Abrasiva (AWJM)	Corte de materiais metálicos e não metálicos; multicamada.	Até 7,5 m/min.
Usinagem por jato abrasivo (AJM)	Corte, limpeza de materiais metálicos e não metálicos; controlado manualmente; tende a arredondar os cantos cortados; perigoso.	

#### 2.2.4 Usinagem a Laser

Na usinagem por laser, a fonte de energia é um laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), que concentra energia luminosa na superfície da peça. A energia altamente concentrada funde e evapora pequenas regiões do material de modo controlado. Este processo, que não necessita de vácuo, é utilizado para usinar uma grande variedade de materiais metálicos e não metálicos. (Marcicano 2002).

Os tipos usuais de laser são:

- CO<sub>2</sub>;
- Nd:YAG (neodímio: ítrio –alumínio silicato);
- Nd: neodímio rubi;
- Por excitação de moléculas.

Na usinagem por laser, a refletividade da superfície, a condutividade térmica, calor específico e calor latente de fusão do material são propriedades importantes no processo. Quanto menor forem estas propriedades, mais eficiente será o processo (Marcicano 2002).

A usinagem por laser é largamente utilizada na furação e corte de metais, não metais, cerâmicas e materiais compósitos. A natureza abrasiva dos materiais compósitos e a necessidade de limpeza do processo fazem da usinagem por laser uma alternativa interessante (MARCICANO, 2002).

O laser tem capacidade de fazer furos a partir de 0,025mm, e podem usinar chapas de até 32 mm de espessura.

O uso da usinagem por laser tem aumentado especialmente na indústria eletrônica e automotiva. Redução de custos tem sido obtida pelo uso da usinagem por laser (MARCICANO, 2002).

Alguns exemplos de usinagem a laser são:

- Soldagem.

- Tratamento térmico localizado e em pequena escala de metais e cerâmicas para modificar as propriedades mecânicas e tribológicas da superfície.
- Na marcação de peças, com letras, números e códigos.

A flexibilidade inerente do processo de corte por laser, fixação simples, pequenos tempos de preparação, e a disponibilidade de máquinas multi-kW e sistemas 2D e 3D controlados por computador são recursos atraentes para a utilização do processo (MARCICANO, 2002).

### **3.OBJETO DE ESTUDO**

#### **3.1. Descrição da empresa**

Empresa fundada em 1918, inicialmente no ramo madeireiro, no Rio Grande do Sul, obteve ao longo dos anos sua expansão para outros setores como o financeiro e posteriormente para a área industrial.

A partir da década de 1990 concentrou suas atividades no ramo de autopeças e equipamentos ferroviários.

Já no interior de São Paulo, em 1998 consolidou a fabricação de rodas para caminhões, ônibus e máquinas agrícolas, como mostra a Figura 2 e chassis para caminhões, ônibus e pick-ups, Figura 3. Atualmente a empresa possui cinco unidades em todo o território nacional, e duas no exterior, adquiridas recentemente.

A empresa conta com altos investimentos no setor de prensarias, possuindo a maior prensa da América latina, com capacidade de 5200 toneladas de pressão, para fabricação de longarinas de até 12 metros de comprimento, como mostrado na figura 4, e outros equipamentos de última geração. E No setor de rodas, com a maioria de suas etapas de fabricação feita por robôs e braços mecânicos como mostra a figura 2.



Figura 2 - Rodas



Figura 3 - Chassis

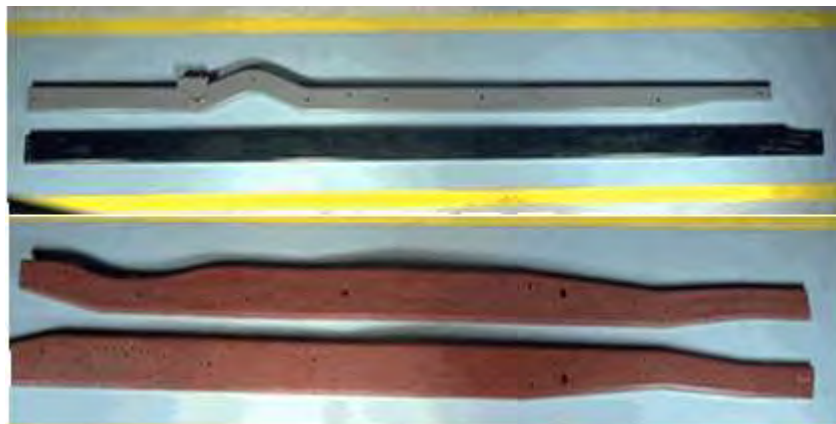


Figura 4 - Longarinas

### 3.2. Máquinas de usinagem a laser

A área de Engenharia de Prensados da empresa atua com a fabricação de novos produtos e componentes para a fabricação de chassis. Para projetos de

desenvolvimentos, a empresa conta com uma máquina de usinagem de corte a laser (LASER CUT MACHINE).

Para o desenvolvimento de novos componentes, precisam-se verificar as especificações de desenho para saber se a peça a ser produzida é viável, em seguida vem o projeto de desenvolvimento, a execução do novo produto, e os testes, esta etapa é a etapa que se usa a máquina de usinagem, etapa que se faz os testes de conformidade das peças formadas pela ferramenta para verificar se o desenvolvimento desta foi feito conforme os padrões, e para tanto pega-se a chapa e desta faz-se os moldes das peças, esses moldes são feitos na máquina de usinagem a laser, pois possuem uma maior qualidade de corte e maior precisão do que as ferramentas de corte disponíveis se houver uma ferramenta de mesmo molde disponível. Em sua maioria, é necessário o corte nas máquinas a laser porque os dispositivos disponíveis não conseguem conformar essas novas peças, e até se fabricar os novos moldes, utiliza-se a máquina a laser.

A máquina atual possui uma alta qualidade do raio e à potência continuamente ajustável, o laser é aplicável em milhares de situações industriais, e se caracteriza por um design extremamente compacto e de alta durabilidade.

É excitado por alta frequência, método este largamente comprovado, que apresenta reais vantagens em comparação com a excitação através de corrente contínua, que contamina os gases lasers e aumenta seu consumo.

A utilização de uma turbina radial, de mancais eletromagnético, isenta de óleo e graxa, faz com que o laser apresente os menores custos de manutenção. Todo o sistema se torna ainda mais econômico pela combinação da tecnologia laser superior com uma concepção sofisticada de máquina.

Com tempos mínimos de set-up, os comandos e tecnologia de programação permitem converter rapidamente um desenho em uma peça finalizada.

Cada TruLaser é hoje o resultado de anos de investimentos em pesquisas e desenvolvimentos. Todo esse know-how lhe será de fundamental importância em suas operações e os processos desenvolvidos aumentarão sua produtividade, ao mesmo tempo em que melhorarão a qualidade de seu corte.

Algumas características das máquinas TRUMPF são:

PierceLine - A operação de perfuração controlada e monitorada reduz o seu tempo da execução, conserva o material e reduz desgastes.

FlyLine - O FlyLine é uma função efetiva na produção de furos em linhas e/ou colunas: enquanto o cabeçote de corte se move sobre a chapa em alta velocidade, o raio laser comandado é ligado e desligado.

Controle de potência do laser - A potência do laser necessária para o corte de contornos e cantos é automaticamente controlada para se obter as devidas velocidades de corte. Isso resulta em peças de ótima qualidade, inclusive aquelas com contornos e arestas pequenas.

Corte em alta velocidade - O vapor do plasma metálico é utilizado por um cabeçote especial para o corte em alta velocidade, reduzindo o tempo de corte.

SprintLine - A seqüência de processamento e as velocidades são otimizadas, minimizando os movimentos dos eixos, obtendo significativa redução de tempo.

NitroLine - NitroLine habilita o uso de Nitrogênio à alta pressão como gás de assistência, para o corte de alumínio e aço inoxidável em alta velocidade.

PlasmaLine - A função PlasmaLine monitora continuamente o processo de corte de chapas de maior espessura, de aço inox e alumínio. Ocorrendo uma variação na formação correta do plasma, esta função alterará os parâmetros de corte (velocidade), retrocederá os movimentos dos eixos, refazendo o corte, e prosseguindo sem a interferência ocorrida, ou seja, serão obtidas peças com as faces de corte livres de rebarbas.

ContourLine - Esta função utiliza o feixe laser de forma pulsada, permitindo a execução com precisão e qualidade de furos cujos diâmetros são consideravelmente menores que a espessura da própria chapa.

Microweld - Esta técnica consiste em fixar as peças acabadas ao esqueleto da chapa utilizada, independente de sua espessura, por meio de pontos de solda a laser.

As máquinas TruLaser são projetadas para otimizar todo o processo de manufatura. Todas as partes estão integradas – suas utilizações são bem pensadas e a curva de aprendizado bem reduzida, priorizando a ergonomia, a tecnologia de comando, a segurança e o design inteligente.

A estrutura fechada da máquina incorpora o laser e o painel de comando, tornando-a bastante compacta. Partes das laterais em Macrolon proporcionam excelente visão de todo o processo. Permitem fácil acesso por todos os lados, simplificando as operações de manuseio de material.

As máquinas TruLaser operam segundo o princípio “ótica voadora”, ou seja, o cabeçote de corte se move ao longo de toda área de trabalho, enquanto a chapa permanece imóvel sobre as grelhas dos pallets. Isso possibilita operações em alta velocidade, independentes do peso da chapa.

Plenas possibilidades de escolha entre diversas potências de laser atenderão melhor suas necessidades de trabalho. O mecanismo de alto-ajuste FocusLine assegura a posição focal constante por toda área de trabalho. O foco ajusta-se automaticamente à chapa. Os cabeçotes de troca rápida passarão a ser substituídos com uma frequência bem menor, economizando mais esse tempo para a produção.

As Configurações da máquina são mostradas no Quadro 5.

Quadro 5 - Configuração da máquina atual

<b>Área de trabalho</b>	<b>Máquina atual</b>	<b>Precisão</b>	<b>Máquina atual</b>	
Eixo X	4.000 mm	Menor distância programável	0,01 mm	
Eixo Y	2.000 mm	<b>Espaço Necessário e Peso</b>		
Eixo Z	115 mm		Comprimento	11.600 mm
<b>Peça a trabalhar</b>			Largura	5.200 mm
Peso Máximo	1.900 Kg	Altura	2.000 mm	
<b>Velocidade máxima</b>		Peso	16.000 Kg	
Paralelo ao Eixo	60 m/min			
Simultâneo	85			

	m/min		
<b>Comando CNC</b> <b>TRUMPF</b>	Siemen s		
	Sinume rik 840D		

Desta maneira, para a compra de uma nova máquina, verificou novos modelos com características e especificações parecidas com o módulo utilizado. Foram analisadas e escolhidas seis empresas, cada qual com dois modelos.

Os critérios de escolha foram realizados pela área responsável pela aquisição, ou seja, o engenheiro responsável, gerentes e diretores. Como referencia foi utilizado uma listagem mostrada no Quadro 6. Não coube ao autor deste trabalho essa responsabilidade. Todas as máquinas estão aptas a ser utilizadas para a necessidade da empresa.

Quadro 6 - Especificações necessárias

<b>DADOS</b>	
Potência do Ressonador (W)	3000 a 3300
Área de trabalho (mm)	3000 X 1500
Número de cabeçotes	1
Número de lentes	mínimo possível
Precisão de corte [Ps] (Repetibilidade)	3 sigma
Precisão de corte [Pa] (Desvio de posição) (mm/m)	± 0,1
Corte de furos menor que a espessura (D/E)	necessário
Controle de qualidade de piercing (altas espessuras)	deseável
<b>PRODUTIVIDADE</b>	
Aceleração máxima do eixo (X e Y)	maior possível
Velocidade de posicionamento paralelo aos eixos	maior possível
Velocidade de posicionamento simultâneo	maior possível
Tempo de trocas das mesas alternantes	menor possível
Troca de lentes	sem ajustes na troca
Troca de bicos	automática
Limpeza de bicos	automática
<b>MANUTENÇÃO/SUPORTE TÉCNICO</b>	
Nº de máquina / técnicos de manutenção (brasil)	menor possível
Manual técnico em português	necessário
Peças de reposição no Brasil	necessário
Especificação para compra de peças no mercado	necessário
<b>SEGURANÇA DO EQUIPAMENTO</b>	
Área de carga/ descarga com barreiras de luz	necessário
<b>TREINAMENTO</b>	
Treinamentos oferecidos	Op./Manut./Prog.
Nº de funcionários previstos nos treinamentos	a combinar

Os modelos são mostrados nos Quadros 7, 8 e 9:

Quadro 7 - Especificações das máquinas 1 e 2

<b>Especificações</b>	<b>Modelo do equipamento</b>	<b>máquina 1</b>	<b>máquina 2</b>
	<b>Potência do Ressonador</b>	4000 W	4000 W
	<b>Área de trabalho (mm)</b>	3000 X 1500	4000 X 2000
	<b>CNC</b>	Fanuc	Fanuc
	<b>Software de processamento laser 2D</b>	Lantec / Metalix	Lantec/Metalix
	<b>Número de cabeçotes</b>	1	1
	<b>Número de lentes</b>	7,5"	7,5"
	<b>Precisão de corte [Ps] (Repetibilidade)</b>	N/I	N/I
	<b>Precisão de corte [Pa] (Desvio de posição)</b>	N/I	N/I
	<b>Corte de furos menor que a espessura (D/E)</b>	N/A	N/A
	<b>Controle de qualidade de piercing (altas espessuras)</b>	Cooling Cutting	Cooling Cutting
<b>Produtividade</b>	<b>Aceleração máxima do eixo (X e Y)</b>	14,8 m/s <sup>2</sup>	14,8 m/s <sup>2</sup>
	<b>Velocidade de posicionamento paralelo aos eixos</b>	120 m/ min	120 m/ min
	<b>Velocidade de posicionamento simultâneo</b>	169 m / min	169 m / min
	<b>Tempo de trocas das mesas alternantes</b>	40 s	40 s
	<b>Troca de cabeçotes</b>	N/A	N/A
	<b>Troca de lentes</b>	N/A (exceto 5")	N/A (exceto 5")
	<b>Troca de bicos</b>	Automática	Automática
	<b>Limpeza de bicos</b>	Automática	Automática
<b>Manutenção</b>	<b>Número de máquinas laser instaladas (Brasil)</b>	4	1
	<b>Nº de técnicos de manutenção (Brasil)</b>	7	
	<b>Nº de máquina / técnicos de manutenção (brasil)</b>	24	
	<b>Manual técnico em português</b>	Não	
	<b>Peças de reposição no Brasil</b>	Não	
	<b>Especificação para compra de peças no mercado</b>	SIM	
<b>Treina- mento</b>	<b>Treinamentos oferecidos</b>	Operação, programação e manutenção	
	<b>Nº de funcionários previstos nos treinamentos</b>	SEM LIMITE DE PESSOAS (indicado 5)	

Quadro 8 - Especificações das máquinas 3 e 4

<b>Especificações</b>	<b>Modelo do equipamento</b>	<b>máquina 3</b>	<b>máquina 4</b>
	<b>Potência do Ressonador</b>	4400 W	4400 W
	<b>Área de trabalho (mm)</b>	3000 X 1500	3000 X 1500
	<b>CNC</b>	Bystronic	Bystronic
	<b>Software de processamento laser 2D</b>	Bysoft	Bysoft
	<b>Número de cabeçotes</b>	2	2
	<b>Número de lentes</b>	5" e 7,5"	5" e 7,5"
	<b>Precisão de corte [Ps] (Repetibilidade)</b>	± 0,05 mm	± 0,05 mm
	<b>Precisão de corte [Pa] (Desvio de posição)</b>	± 0,1 mm/m	± 0,1 mm/m
	<b>Corte de furos menor que a espessura (D/E)</b>		
	<b>Controle de qualidade de piercing (altas espessuras)</b>		
<b>Produtividade</b>	<b>Aceleração máxima do eixo (X e Y)</b>	12,0 m/s <sup>2</sup>	30 m/s <sup>2</sup>
	<b>Velocidade de posicionamento paralelo aos eixos</b>	100 m/ min	120 m / min
	<b>Velocidade de posicionamento simultâneo</b>	140 m/ min	169 m / min
	<b>Tempo de trocas das mesas alternantes</b>	35 s	25 s
	<b>Troca de cabeçotes</b>	Manual	Manual
	<b>Troca de lentes</b>	N/A	N/A
	<b>Troca de bicos</b>	Automática	Automática
	<b>Limpeza de bicos</b>	Automática	Automática
<b>Manutenção</b>	<b>Número de máquinas laser instaladas (Brasil)</b>	13	90
	<b>Nº de técnicos de manutenção (Brasil)</b>	11	
	<b>Nº de máquina / técnicos de manutenção (brasil)</b>	21	
	<b>Manual técnico em português</b>	SIM	
	<b>Peças de reposição no Brasil</b>	SIM	
	<b>Especificação para compra de peças no mercado</b>	SIM	
<b>Treina- mento</b>	<b>Treinamentos oferecidos</b>	Operação, programação e manutenção	
	<b>Nº de funcionários previstos nos treinamentos</b>	SEM LIMITE DE PESSOAS (indicado3)	

Quadro 9 - Especificações das máquinas 5 e 6

<b>Especificações</b>	<b>Modelo do equipamento</b>	<b>máquina 5</b>	<b>máquina 6</b>
	<b>Potência do Ressonador</b>	3200 W	5000 W
	<b>Área de trabalho (mm)</b>	3000 X 1500	3000 X 1500
	<b>CNC</b>	Siemens 840 D	Siemens 840 D
	<b>Software de processamento laser 2D</b>	Tru tops	Tru tops
	<b>Número de cabeçotes</b>	1	1
	<b>Número de lentes</b>	(5"/7,5")	(5"/7,5")
	<b>Precisão de corte [Ps] (Repetibilidade)</b>	± 0,03 mm	± 0,03 mm
	<b>Precisão de corte [Pa] (Desvio de posição)</b>	± 0,1 mm	± 0,1 mm
	<b>Corte de furos menor que a espessura (D/E)</b>	ContourLine (0,4)	ContourLine (0,4)
	<b>Controle de qualidade de piercing (altas espessuras)</b>	Spray de óleo	Spray de óleo
<b>Produtividade</b>	<b>Aceleração máxima do eixo (X e Y)</b>	15,8 m/s <sup>2</sup>	15,8 m/s <sup>2</sup>
	<b>Velocidade de posicionamento paralelo aos eixos</b>	100 m / min	200 m / min
	<b>Velocidade de posicionamento simultâneo</b>	140 m / min	300 m / min
	<b>Tempo de trocas das mesas alternantes</b>	22s	22s
	<b>Troca de cabeçotes</b>	N/A	N/A
	<b>Troca de lentes</b>	N/A	N/A
	<b>Troca de bicos</b>	Automática	Automática
	<b>Limpeza de bicos</b>	Automática	Automática
<b>Manutenção</b>	<b>Número de máquinas laser instaladas (Brasil)</b>	15	68
	<b>Nº de técnicos de manutenção (Brasil)</b>	28	
	<b>Nº de máquina / técnicos de manutenção (brasil)</b>	13	
	<b>Manual técnico em português</b>	NÃO	
	<b>Peças de reposição no Brasil</b>	Sim	
	<b>Especificação para compra de peças no mercado</b>	NÃO	
<b>Treina mento</b>	<b>Treinamentos oferecidos</b>	Oper., progr., manute. e tecnologia laser	
	<b>Nº de funcionários previstos nos treinamentos</b>	cobra custo/pessoa	

Para tanto se deu a idéia de utilizar o método AHP como um auxílio na decisão final.

Isso porque, a utilização de um método de auxílio à decisão por múltiplos critérios condiz com análise realizada atualmente, sob o ponto de vista de vários critérios, e a sugestão da melhor alternativa é feita de maneira prática e de fácil compreensão. Por meio desse método é possível que com que seja escolhida a melhor referência de comparação e assim os novos projetos sejam apresentados baseando-se nas melhores práticas da empresa (LAZARINI, 2009).

## 4. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

### 4.1. Definição Dos Critérios Para A Tomada de Decisão

Os critérios de maior relevância foram identificados a partir de reuniões com os colaboradores da aquisição do equipamento, e dos dados de suas configurações.

Foi definido que os critérios de maior importância são:

- Produtividade;
- Integração homem máquina (IHM);
- Manutenção; Suporte técnico;
- Segurança;
- Treinamento.

Com essas informações foi possível, então, aplicar o método AHP para a escolha da máquina adequada.

#### 4.1.1 Descrição Dos Critérios

##### a) Produtividade

Este critério leva em consideração principalmente as velocidades, e tempos de corte como:

- Velocidade de corte – é a velocidade em que a ponta laser corta o aço;
- Velocidade de posicionamento simultâneo – velocidade em que a ponta laser leva para se posicionar para realizar o corte;
- Velocidade de posicionamento paralelo ao eixo – velocidade em que o eixo se movimenta para atingir seu ponto para início do corte;
- Tempo de trocas das mesas alternantes – é o tempo em que as mesas trocam ao término de cada chapa usinada;

- Aceleração máxima do eixo (X, Y).

b) IHM

Este critério leva em consideração a interface Homem-máquina, ou seja, o quão fácil é para o operador manusear o equipamento, a facilidade de utilizar o programa da máquina, a facilidade de limpeza da máquina, como a retirada de cavaco, a facilidade de trocas de chapas, isso inclui a facilidade de colocar e retirar as chapas na mesa.

c) Manutenção / Suporte técnico

A manutenção tem como pontos importantes:

- O número de técnicos disponíveis de manutenção;
- Se há no país peças de reposição;
- Se essas peças são de fácil reposição;
- A relação entre número de máquinas e técnicos de manutenção aptos para identificar algum problema e repará-lo;
- Possui manual em português;
- Garantia.

d) Segurança

A segurança tem como objetivo, manter o operador livre de riscos, e para tanto é necessário que a máquina possua itens de segurança como:

- Área de carga e descarga com barreira de luz, a máquina para se alguém atravessar essa barreira;
- Protetores laterais para que cavacos e sujeiras não alastrem e possam atingir o operador;
- Janelas protetoras de visão para os operadores não sofrerem danos pela forte luz do laser;
- Botões de emergência em lugares estratégicos;

e) Treinamento

Os treinamentos são necessários para se ter um bom desempenho da máquina e para que o operador tenha um bom conhecimento desta. Os treinamentos requeridos são de operação, programação e manutenção do equipamento.

E a disponibilidade de número de funcionários que podem realizar o treinamento.

#### 4.1.2 Estrutura Hierárquica

A estrutura hierárquica mostra o método AHP em sua síntese com o objetivo principal no topo da cadeia seguido dos critérios a serem avaliados e por seguinte, as alternativas que o compõe. A Figura 5 mostra a estrutura hierárquica do presente trabalho.

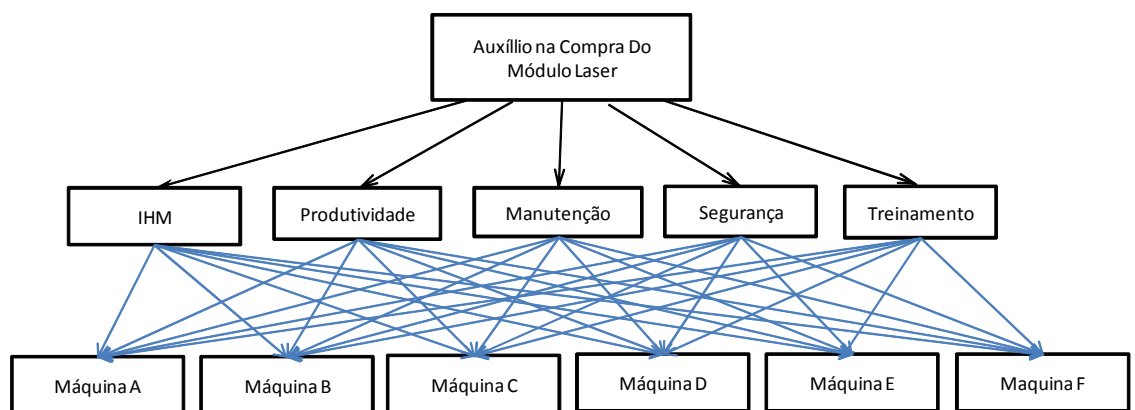


Figura 5 - Estrutura Hierárquica do método AHP

#### 4.1.3 Julgamento dos critérios e alternativas

Com o objetivo principal, os critérios, e as alternativas definidas, pôde-se executar o AHP para definir seus pesos e definir qual opção é a mais adequada, para tanto foi utilizada uma versão acadêmica e gratuita do *Expert Choice*(v11.5). A figura 6 mostra a interface principal do programa.

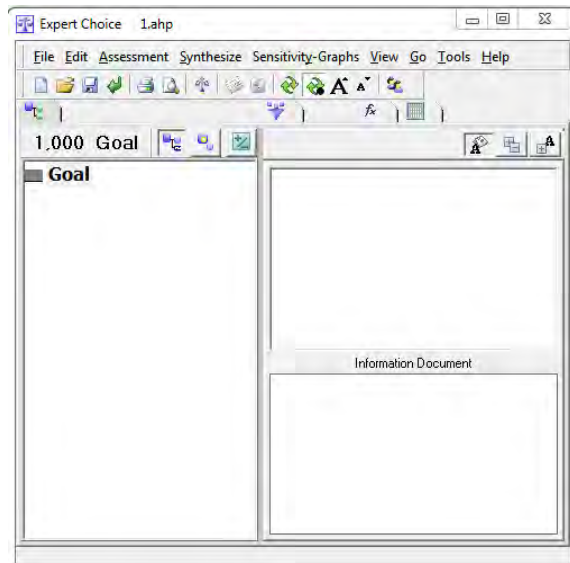


Figura 6 - Interface principal do *Expert Choice*. Fonte: (*Expert Choice* 2010)

Ao abrir o programa EC, coloca-se o objetivo principal, como mostrado na figura 7.

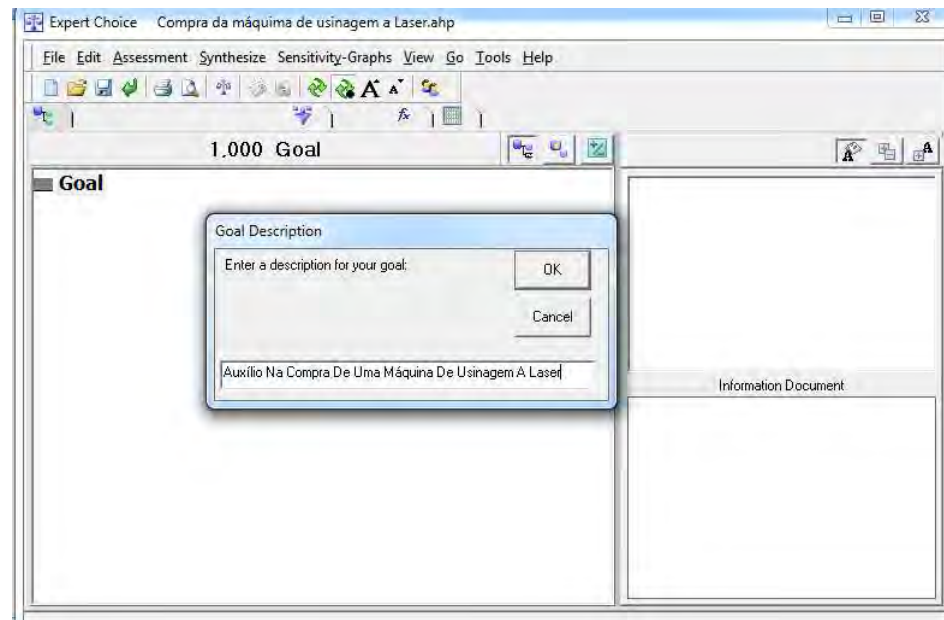


Figura 7 - Inserção do objetivo principal. Fonte: (*Expert Choice* 2010)

Por seqüência colocam-se os critérios escolhidos como mostra a figura 8.

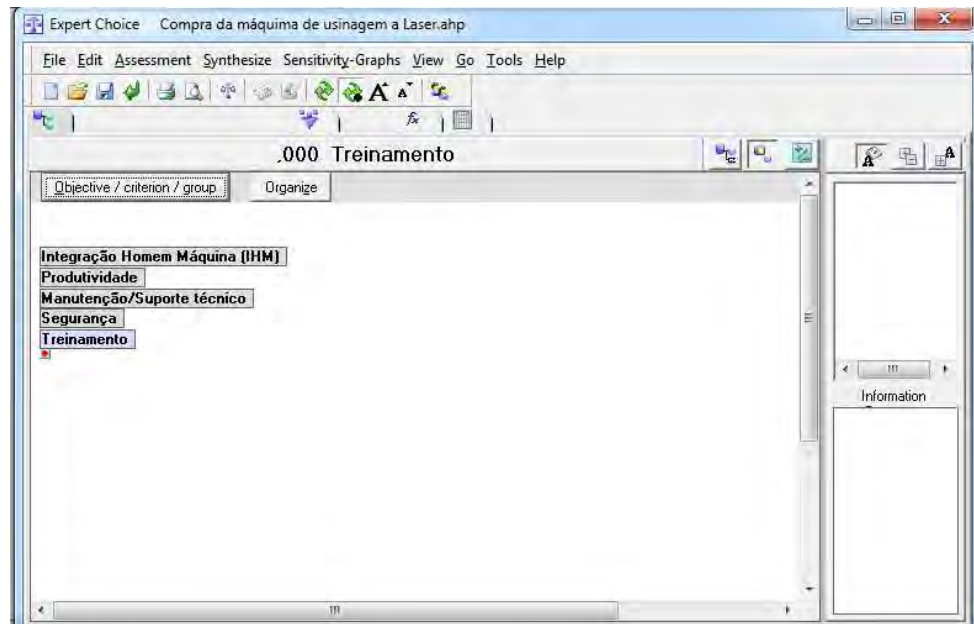


Figura 8 - Critérios inseridos no EC. Fonte: (Expert Choice 2010)

Baseando-se na Escala Fundamental de Saaty, mostrada anteriormente, o engenheiro responsável pela compra fez a avaliação dos critérios.

O método permite uma maior precisão se for realizado com um número maior de colaboradores, conseguindo assim restringir mais as especificações requeridas e atingir com maior precisão o objetivo final.

Essa avaliação foi inserida no EC, e seu resultado é mostrado na figura 9.

	Integração	Produtivid:	Manutençã	Segurança	Treinamen
Integração Homem Máquina (IHM)		5,0	3,0	2,0	2,0
Produtividade			5,0	7,0	7,0
Manutenção/Suporte técnico				3,0	3,0
Segurança					1,0
Treinamento	Incon: 0,03				

Figura 9 - Avaliação dos critérios. Fonte: (Expert Choice 2010)

Automaticamente o programa calcula os pesos dos critérios e o índice de consistência da matriz calculada, a figura 10 mostra os valores desses pesos e o índice de consistência da matriz, que foi de 0,03 não necessitando de rever a matriz.

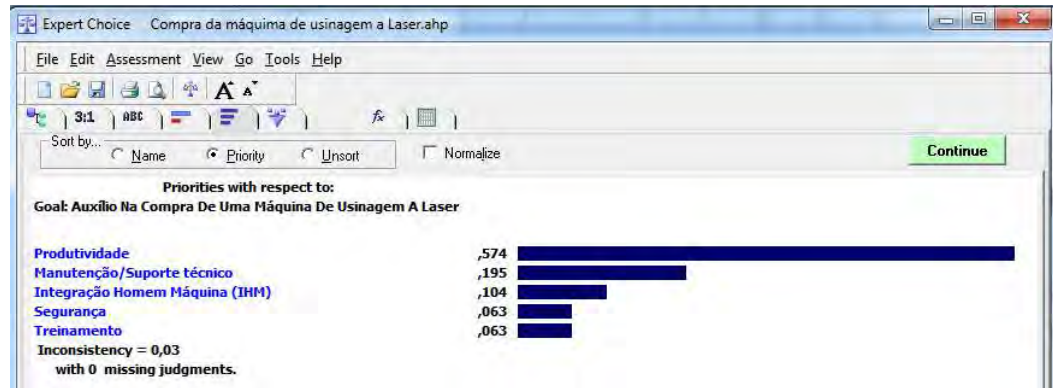


Figura 10 - Pesos dos critérios e índice de consistência. Fonte: (Expert Choice 2010)

Em sequência colocam-se as alternativas, mostradas na estrutura hierárquica, a figura 11 mostra em destaque as seis alternativas inseridas.

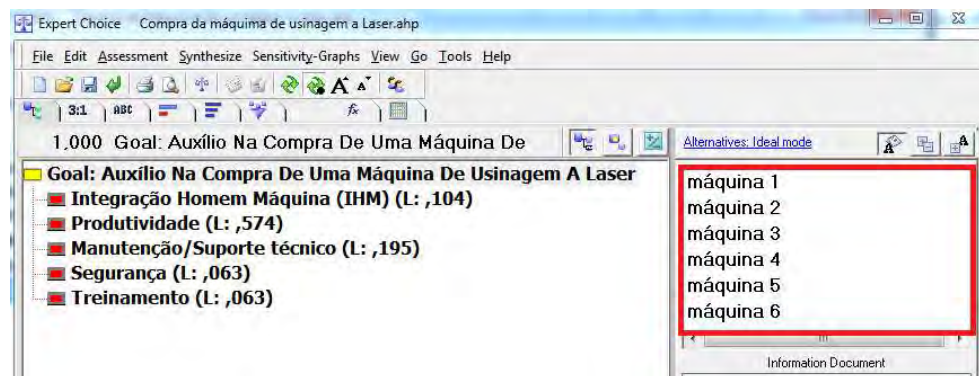


Figura 11 - Alternativas inseridas no EC. Fonte: (Expert Choice 2010)

Em seguida faz-se a avaliação das máquinas em relação ao critério IHM, mostrado na figura 12.

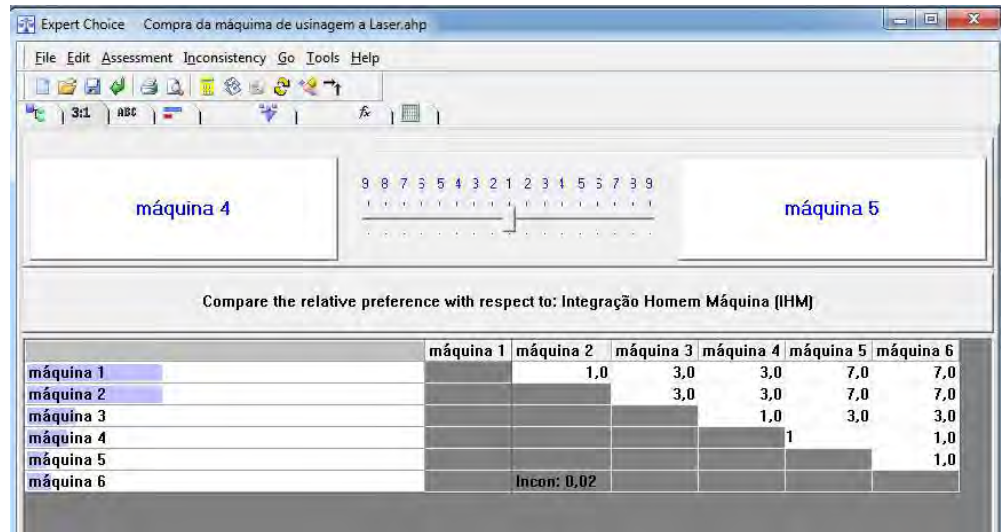


Figura 12 - Avaliação das máquinas em relação ao critério IHM. Fonte: (Expert Choice 2010)

Faz-se o mesmo para todos os critérios, produtividade, manutenção / suporte técnico, segurança e treinamento. Ao final de todas as avaliações feitas o resultado do software nos mostra todos os pesos, e os índices de consistência, o peso de cada alternativa, mostrando também qual delas é a melhor escolha a ser tomada. As figuras 13, 14, 15, 16 e 17 mostram esses resultados.

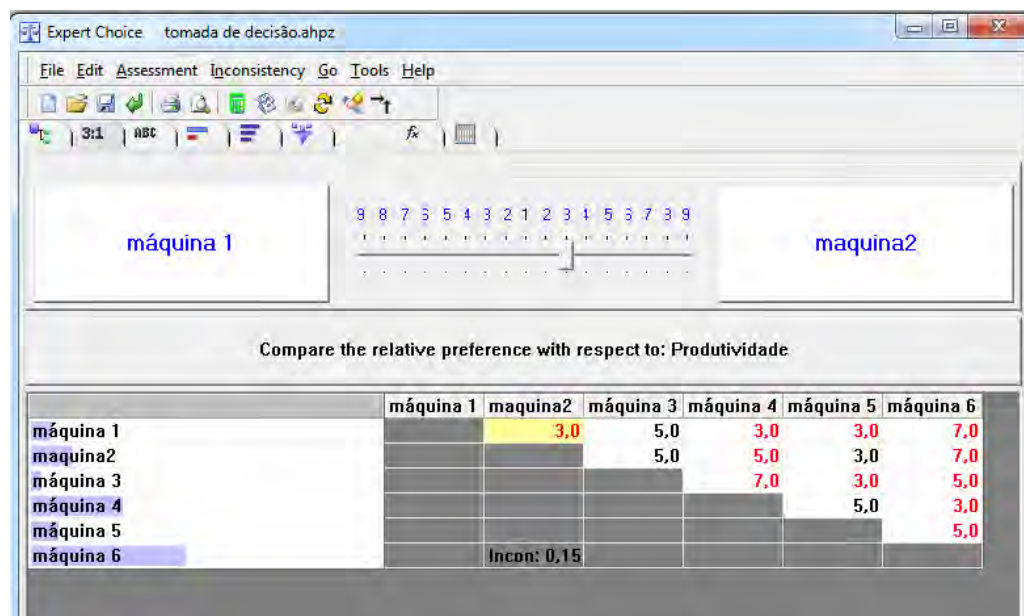


Figura 13 - Avaliação das máquinas em relação ao critério produtividade. Fonte: (Expert Choice 2010)

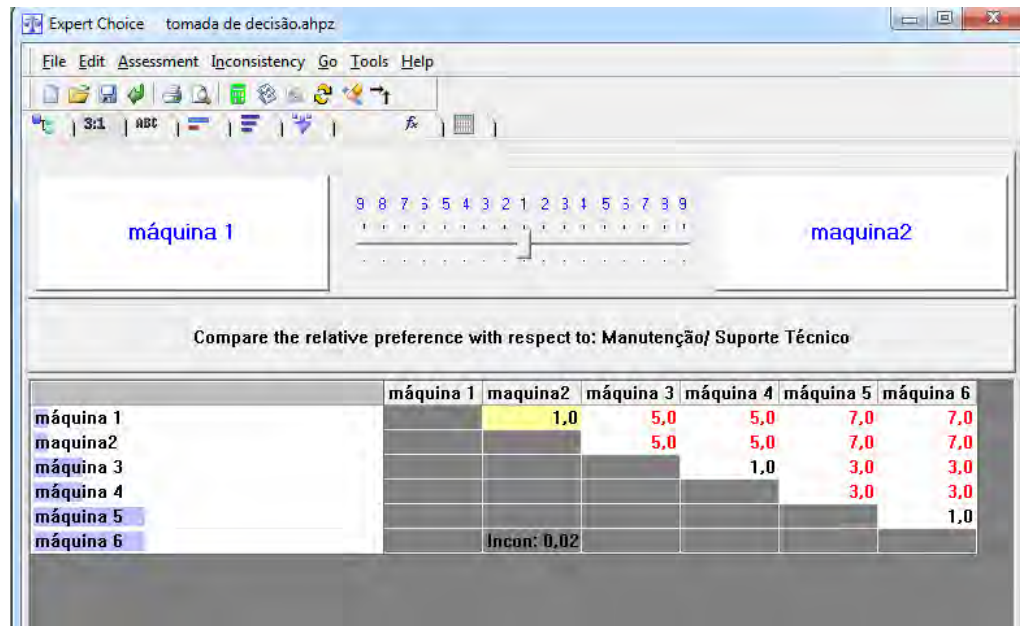


Figura 14 - Avaliação das máquinas em relação ao critério Manutenção/ Treinamento. Fonte: (*Expert Choice* 2010)

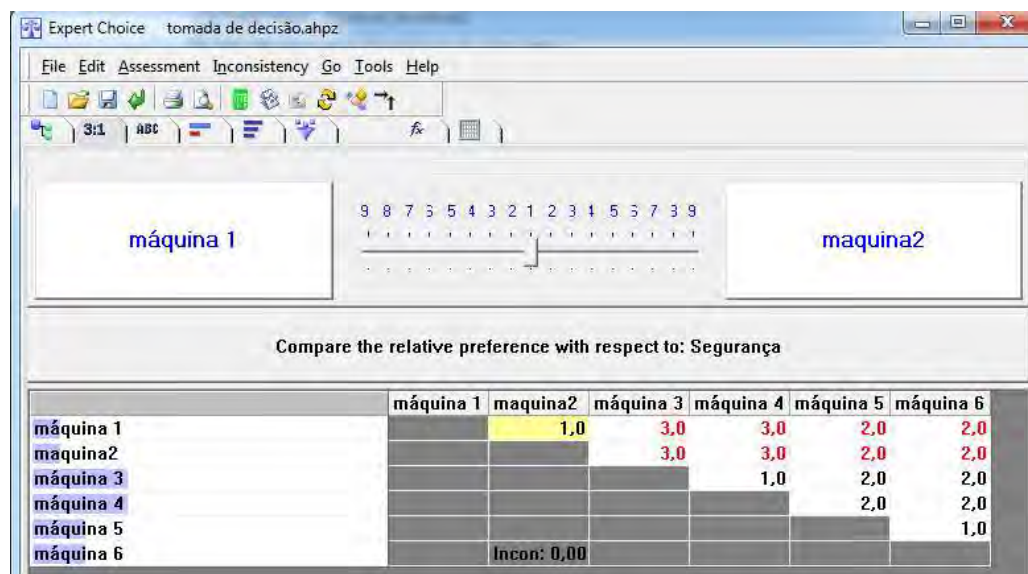


Figura 15 - Avaliação das máquinas em relação ao critério Segurança. Fonte: (*Expert Choice* 2010)

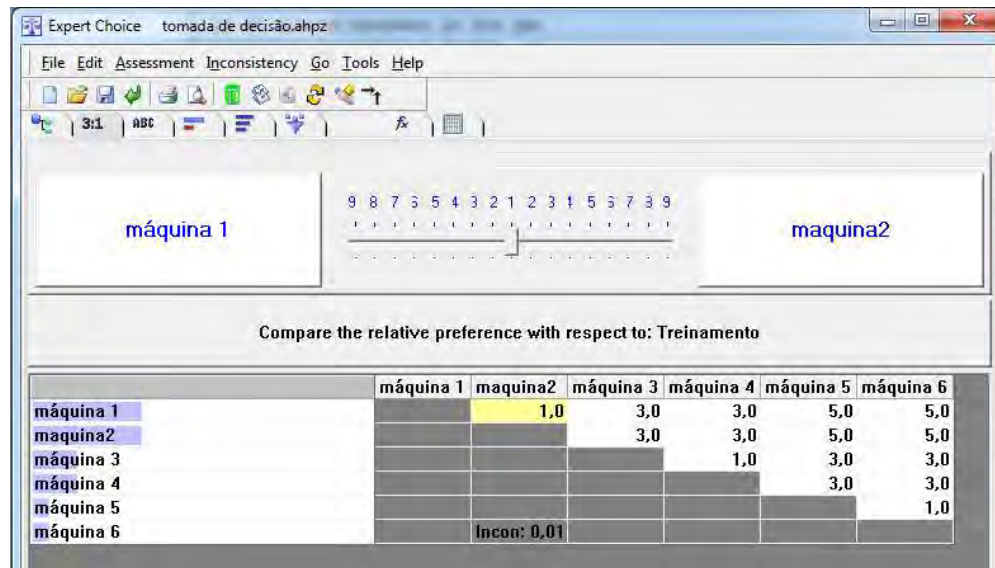


Figura 16 - Avaliação das máquinas em relação ao critério Treinamento. Fonte: (Expert Choice 2010)

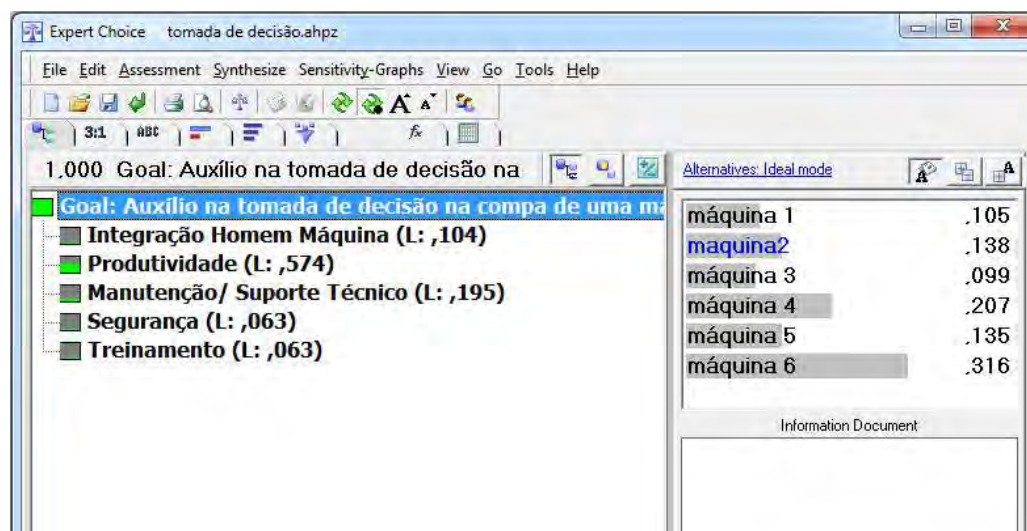


Figura 17 - Resultado final do método AHP. Fonte: (Expert Choice 2010)

Na avaliação em relação à produtividade o índice de consistência mostrou o valor de 0,15, um valor um pouco alto, mas de acordo com a escala fundamental de Saaty, ainda está nos parâmetros permitidos.

Na figura 17 verifica-se que a máquina 6 possui o maior valor entre as seis alternativas possíveis, ficando com 31,6%, seguido da máquina 4 com 20,7%.

Contudo, deve-se ressaltar que esses julgamentos trazem a subjetividade proveniente da experiência do colaborador (LAZARINI, 2009).

Desse modo foi realizada uma análise de sensibilidade sobre os critérios de decisão. Essa análise é feita pelo próprio programa (EC). A figura 18 mostra

graficamente a conclusão dos critérios e das alternativas. Pode-se observar que o critério de maior consideração com 57,4% foi o de produtividade, como esperado em uma máquina onde se quer obter o maior rendimento possível. Do lado das alternativas, verifica-se como foi falado anteriormente que a máquina seis possui uma boa vantagem em relação aos concorrentes.

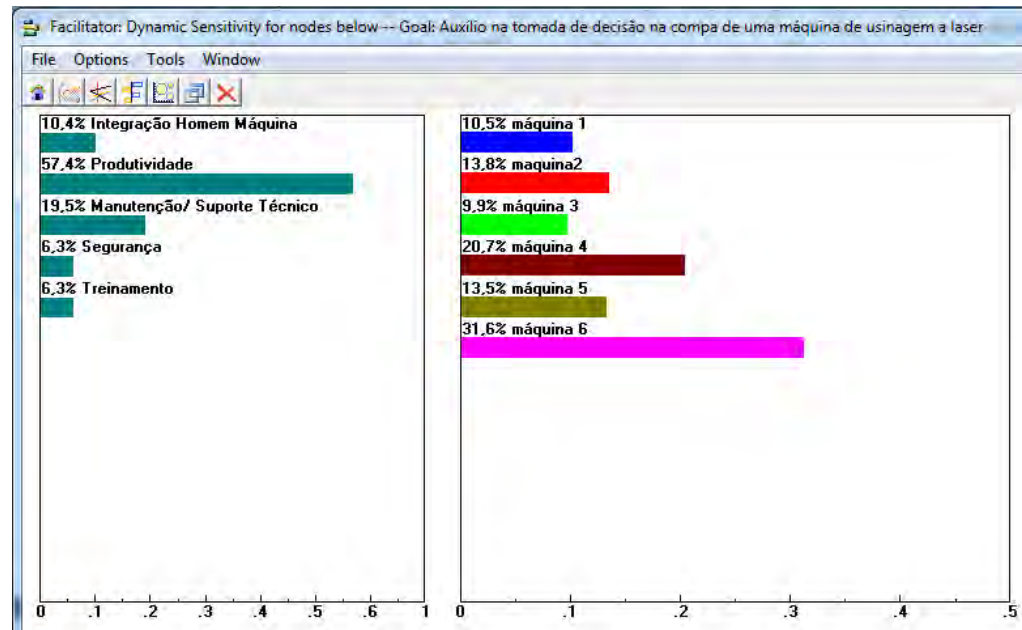


Figura 18 - Gráfico dos critérios das alternativas. Fonte: Tela de saída do *Expert Choice*

Com a análise de sensibilidade, podemos aumentar o valor do critério IHM para até aproximadamente 40%, sem modificar a alternativa de melhor decisão, como mostra a figura 19, fazendo isso para todos os outros critérios concluímos que o critério segurança pode ser elevado até aproximadamente 45% figura 20, e o treinamento a 40% figura 21.

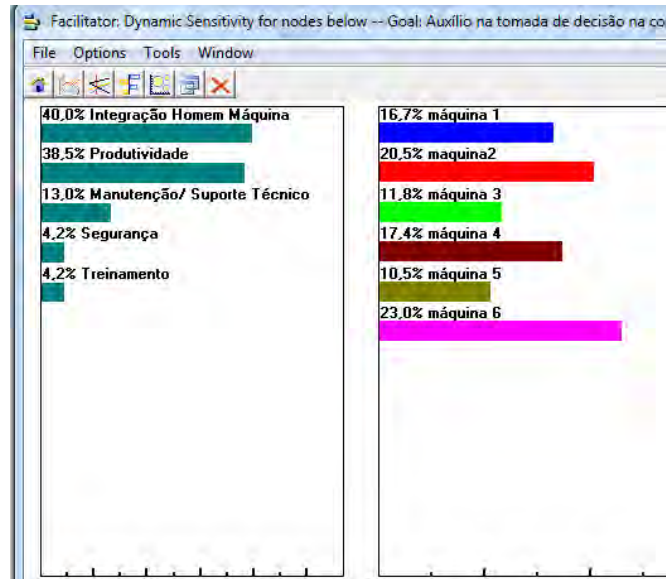


Figura 19 - Aumento da IHM para 40%. Fonte: Tela de saída do *Expert Choice*

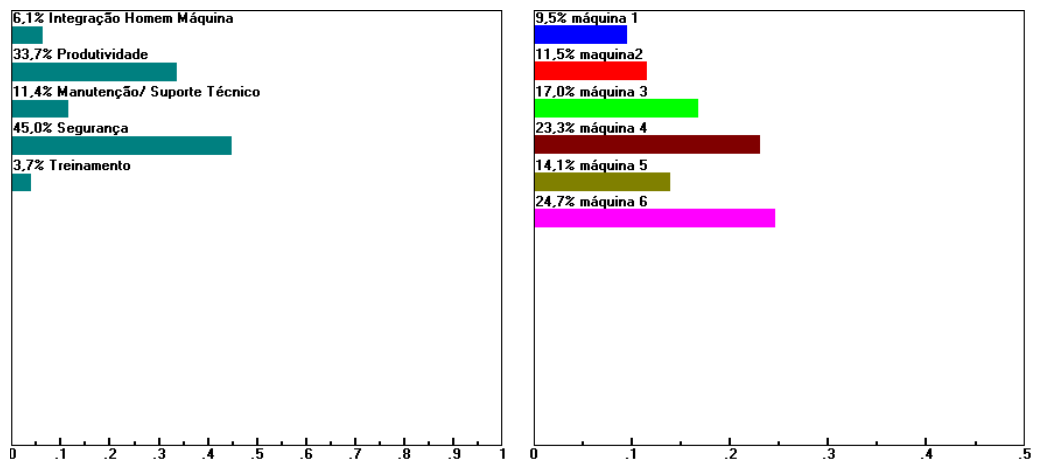


Figura 20 - Aumento do critério segurança pra 45%. Fonte: Tela de saída do *Expert Choice*

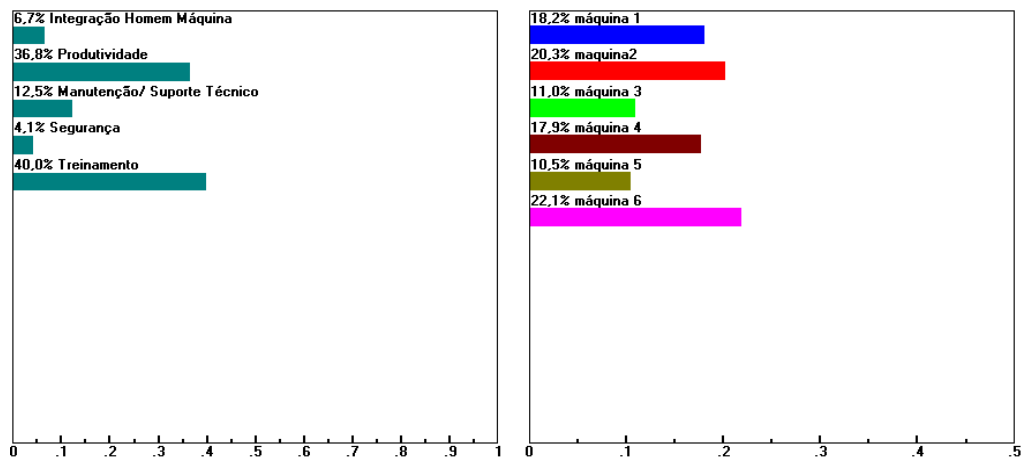


Figura 21 - Aumento do critério treinamento para 40%. Fonte: Tela de saída do *Expert Choice*

Sabe-se que o preço de um equipamento pode influenciar muito na hora da sua aquisição, para tanto se fez uma análise incluindo o critério preço no resultado.

O peso do critério foi associado de acordo com o preço real de cada equipamento, porém, como não é permitida a divulgação destes preços, foi colocado somente o peso de cada um deles. Para tanto houve uma alteração no peso de cada critério, este mostrado na figura 22, feito pelo programa EC.

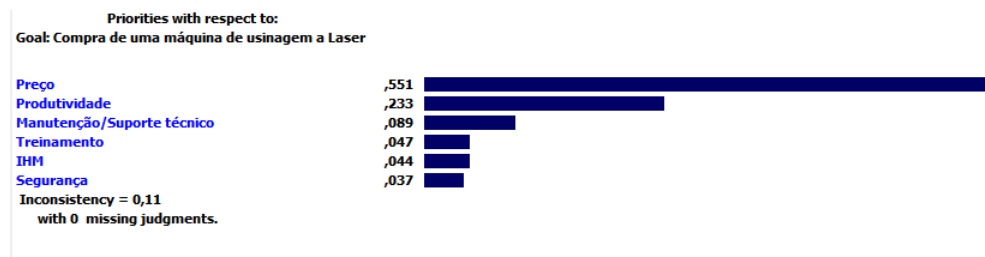


Figura 22 - Nova Configuração dos pesos. Fonte: Tela de saída do *Expert Choice*

Na figura 22 verifica-se que o fator preço influenciou o resultado, mas não alterou seu critério de decisão final, mantendo a escolha. O índice de consistência foi alterado, mas manteve um valor abaixo de 0,20.

Tabela 3 – Matriz de decisão complementar

	IHM	Produtividade	Manutenção	Segurança	Treinamento	Preço	Resultado
Peso	0,044	0,233	0,089	0,037	0,047	0,551	1,001
Máquina 1	0,334708435	0,112582691	0,035963715	0,081712059	0,318492786	0,212	0,178964216
Máquina 2	0,334708435	0,105226004	0,035963715	0,081712059	0,318492786	0,133	0,133721108
Máquina 3	0,121318461	0,045650044	0,139477283	0,269807275	0,129142497	0,175	0,140865517
Máquina 4	0,121318461	0,162372337	0,139477283	0,269807275	0,129142497	0,111	0,132797812
Máquina 5	0,043973104	0,173724306	0,324559002	0,148480666	0,052364717	0,225	0,203228257
Máquina 6	0,043973104	0,400444618	0,324559002	0,148480666	0,052364717	0,144	0,21142309

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1 Considerações Finais

Para que a tomada de decisão seja efetuada com sucesso, tanto na vida acadêmica, profissional ou pessoal, é preciso entender a situação em que tal decisão é tomada, para tanto a definição dos objetivos, critérios, e as alternativas precisam ser muito bem elaboradas e definidas.

O presente trabalho foi uma pequena contribuição para a aquisição de uma máquina de usinagem a laser, em que o objetivo principal era adquirir uma máquina em potencial e com todas as especificações necessárias para seu bom desempenho e funcionamento.

Após definido o objetivo principal, os critérios de maior importância foram bem definidos. Utilizando o método AHP como instrumento de tomador de decisão, com o julgamento dos critérios e com o auxílio do programa *Expert Choice*, foi possível avaliar cada critério e estabelecer uma ordem de importância, e conseqüentemente mostrar o resultado final, indicando a melhor compra a ser feita.

Para a definição dos critérios, especificações das características serem mais concretas, quanto maior o número de colaboradores especialistas no assunto tiver e fizer o método aplicado, melhor o resultado obtido pelo método AHP, pois se restringe mais as opções e obtém assim melhores resultados.

Com o programa também foi feita uma análise de sensibilidade, em que se puderam observar como cada julgamento influenciava na decisão final.

Ficou evidenciado que a utilização do método AHP permite aos tomadores de decisão uma melhor estruturação do processo de decisão, bem como a indicação da melhor máquina a ser adquirida, de forma simples e prática.

O método AHP nesse trabalho se mostrou muito eficiente, pois atendeu todas as expectativas e conseguiu alcançar todos os objetivos proposto pelo trabalho.

## 5.2 Contribuições e propostas para futuros trabalhos

O processo de compras do setor de engenharia não dispõe de um sistema ou metodologia fixa para a compra de equipamentos, para tanto diferentes métodos são utilizados, cada responsável faz da maneira que seu superior ou o treinamento lhes ensinaram, contudo o presente trabalho apresentou uma metodologia muito utilizada pra realizações de tomada de decisão, e que posteriormente pode ser utilizada como padrão para futuras aquisições a serem feitas.

As empresas em geral, não possuem um elo entre os processistas das áreas com o setor de compras, o que, muitas vezes pode ser prejudicial, pois o comprador pode optar por escolher, e negociar um produto diferente do esperado pelo processista, utilizando muitas vezes do fator preço para a aquisição. Se o critério, ou um padrão existir, esse elo pode passar a existir, e beneficiará a empresa no todo.

No entanto a empresa não possui um programa ou software como o *Expert Choice*, e para tanto pode desenvolver um modelo pelo programa Excel para tais aplicações.

## **Bibliografia**

ARMACOST, R. L.; HOSSEINI, J. C.; JALVAGI, R. Using the Analytic Hierarchy Process for small business decision making. Akron Business and Economic Review, .21, n.1, 1990.

COITINHO, M. Influência da incerteza no processo de decisão: priorização de projetos de melhoria, 91 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COSTA, H.G.; Auxílio multicritério à decisão: Método AHP. Rio de Janeiro; editora ABEPRO, 2006

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C. ; COPPINI, N. L. ; Tecnologia da usinagem dos materiais ; São Paulo, editora Artliber, 2006

FERRARESI, D.;Fundamentos da usinagem dos metais;São Paulo. Editora Edgar Blucher, 1970

GOMES, L. F. A. M; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. Tomada de decisão gerencial Enfoque multicritério.São Paulo, Editora Atlas, 2009

IAÑEZ, M. M. ; CUNHA, C.B. Uma metodologia para a seleção de um provedor de serviços logísticos, Revista Produção, v.16, n. 3, p 394-412, Set/Dez, 2006.

LAZARINI, M. S. A.; Aplicação de método de auxílio a decisão na seleção de projetos referencia no contexto da indústria de bens de capital; Trabalho de graduação; Guaratinguetá, 2009

MARCICANO, J. P. P. ; Tópicos em fabricação mecânica, 58 p.;2001

MARINS, F. A. S.; PEREIRA, M. dos S.; BELDERRAIN, M. C. N.; URBINA, L. M. S; Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios aplicações na indústria aeroespacial. São Paulo, 2010

ROMERO, B. C. Análise da localização de plataformas logísticas:aplicação ao caso do ETSP – Entrepasto Terminal de São Paulo – da CEAGESP, Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process – plannig, priority setting, resource allocation. New York:McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. Método de análise hierárquica. Editora Makron, São Paulo, 1991.

SAATY, T. L. Decision Making with Dependence and Feedback: the Analytic Network Process. RWS Publications, Pittsburgh, Pennsylvania, 2001.

SALOMON, V.A.P. Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios na análise do planejamento e controle da produção. Tese (Doutorado em Engenharia) - São Paulo: Poli/USP, 2004.

SALOMON, V.A.P.; MARINS; F.A.S; DUDUCH, M.A. Tomada de decisões múltiplas aplicada à seleção de fornecedores de equipamentos de uma linha de montagem em uma fábrica de autopeças. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, v. 1, n. 3, p. 1-10.

SALOMON, V.A.P. Contribuição para auxílio à decisão em processos de compras. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Itajubá: UNIFEI, 1998.

SHIMIZU, T. Decisões nas organizações – introdução aos problemas de decisão encontrados nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão. São Paulo: Editora Atlas, 2001.

VERALDO JR., L.G.; SALOMON, V.A.P.; MARINS, F.A.S. Gestão do estoque xcedente com proposta de redução através da decisão multicriterial. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. Anais, Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008. 1 CD-ROM.