

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2011

KLEITON VINICIUS PAULINO

UM ESTUDO DE CASO SOBRE A FABRICAÇÃO DE ENGRENAGENS

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

Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

Guaratinguetá
2011

Paulino, Kleiton Vinicius
P328f Um Estudo de Caso sobre a Fabricação de Engrenagens / Kleiton Vinicius
Paulino – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
78 f : il.
Bibliografia: f. 58

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.
Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

1. Engrenagens – Processos de fabricação I. Título

CDU 621.83

UM ESTUDO DE CASO SOBRE A FABRICAÇÃO DE ENGRENAGENS

KLEITON VINICIUS PAULINO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias
Coordenador

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. MARCELINO PEREIRA DO NASCIMENTO
UNESP-FEG



Eng. LUIS CLÁUDIO MARCONDES DA MOTA
Liebherr Brasil G.M.O. LTDA

dezembro de 2011

DADOS CURRICULARES

KLEITON VINICIUS PAULINO

NASCIMENTO	19.01.1988 – TAUBATÉ/ SP
FILIAÇÃO	Edson Paulino Maria de Fátima Bussi Viviani Paulino
2004/2005	Curso Técnico em Mecânica ETE Machado de Assis
2006/2011	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”

de modo especial, à minha família e namorada as quais proporcionaram as oportunidades para que eu pudesse estudar.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

aos meus pais *Edson e Fátima* e ao meu irmão *Kleber* que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

à minha namorada *Raquele* que sempre me ajudou nos momentos difíceis do estudo,

ao funcionário da pós-graduação *Francisco* pela dedicação e alegria no atendimento,

à Liebherr Brasil, em particular na pessoa do engenheiro *Luis Cláudio Marcondes da Mota*, gerente do Departamento de Pós Venda de máquinas operatrizes, pelo auxílio na elaboração do trabalho, pela paciência e dedicação durante meu tempo de estágio e, ainda, por todo o conhecimento transmitido

“Hay Que Endurecer, Pero Sin Perder La Ternura Jamás”

Ernesto Che Guevara

PAULINO, K. V. **Ferramentas de corte para a fabricação de engrenagens**. 2011. 78 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

A evolução humana sempre esteve atrelada às necessidades pessoais ou do grupo. Essa afirmação é fundada em observações do dia-a-dia. Com a evolução, podemos hoje escolher, dentre muitas, excelentes técnicas e materiais que podem ser empregados na construção de um elemento de máquina tão importante para a funcionalidade de máquinas e equipamentos: a engrenagem. Quando analisamos uma máquina, observamos que esta é geralmente concebida, combinando-se um conjunto de peças pré-determinadas em seu projeto. As engrenagens são um exemplo dos dispositivos mecânicos mais antigos utilizados pelo homem, e atualmente são os componentes mais importantes na técnica de transmissão. Esta é responsável pela transmissão de movimento rotativo e linear de um eixo para outro. As engrenagens constituem um dos melhores meios dentre os vários disponíveis para essa transmissão de movimento.

Engrenagens são os componentes mais importantes da técnica moderna de transmissão. O principal objetivo de uma transmissão de engrenagens é transmitir torque e velocidade precisamente. Os requisitos aumentaram significativamente devido à poluição e à conservação de energia. Nos dias de hoje, as transmissões por engrenagens são necessárias para transmitirem elevada força por toda sua vida útil em conjunto com a alta demanda na execução e propriedades sonoras. Um *design* ótimo para as engrenagens necessita de um conjunto das mais modernas máquinas de fabricação e ferramentas de corte.

No presente trabalho estuda-se sobre a fabricação de engrenagens, realizando o acompanhamento de um estudo de caso do *try out* da instalação de uma máquina retificadora de engrenagens.

Palavras-Chave: Engrenagens. Tipo de engrenagens. Processos de fabricação de engrenagens

PAULINO, K. V. **Cutting Tools for Gear Manufacturing**. 2011. 78 f. Monograph (Undergraduate Work in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Univ. Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

Human evolution has always been linked to personal or group needs. This statement is based on observations of the day to day. With time, we can now choose from among many excellent techniques and materials that can be employed in the construction of this part of the machinery so important to the functionality of machines and equipment. When we look at a machine, we see that this is usually designed by combining a set of pre-determined in your project. Among the many pieces that we can highlight one of them is of fundamental importance, the gear. Gears are an example of the mechanical devices used by the older man, and are currently the most important components in the transmission technique. This is responsible for transmitting rotary motion from one shaft to another. Gears are one of the best among the various means available for the transmission of motion.

Gears are the most important components of modern technique of transmission. The main purpose of a transmission gear is precisely transmit torque and speed. The requirements have increased significantly due to pollution and energy conservation. Nowadays, gear transmissions are required to transmit high strength through all his life together with the high demand on performance and sound properties. An optimal design for the gear you need a set of the most modern fabrication machines and cutting tools.

In the following work is studied on the manufacture of gears, making the monitoring of a case study of the try out the installation of a gear grinding machine.

Keywords: Gears. Gear Type. Gear Manufacturing Processes

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: O barulkon de Arquimedes.....	15
Figura 2.2: Taxímetro de Vitruvius (Diels).....	16
Figura 2.3: Rascunhos de parafusos sem fim-engrenagens feitos por Leonardo da Vinci1....	16
Figura 3.1: Configuração de engrenagem padrão.....	18
Figura 3.2: Geometria da Engrenagem	19
Figura 3.3: Engrenagens Cilíndricas.....	20
Figura 3.4: Engrenagens.....	21
Figura 3.5: Engrenagens Coroa Sem Fim.....	21
Figura 3.6: Engrenagem normal de perfil evolvente.....	22
Figura 3.7: Especificação das partes construtivas de uma engrenagem.....	23
Figura 3.8: Dente de engrenagem e termos de engrenagens.....	24
Figura 3.9: Perfil Evolvente.....	25
Figura 3.10: Circunferência primitiva.....	26
Figura 3.11: Seção de Dente de engrenagem.....	27
Figura 4.1: Condições de contato.....	28
Figura 4.2: Processo de Retificação cilíndrica	30
Figura 4.3: Coríndon.....	32
Figura 4.4: Nitreto cúbico de Boro.....	32
Figura 4.5: Desprendimento Total	33
Figura 4.6: Macro desprendimento.....	33
Figura 4.7: Coríndon Sintetizado Microdesprendimento.....	33
Figura 4.8: Estrutura	34
Figura 4.9: Estrutura.....	35
Figura 4.10: Ferramenta Nova.....	35
Figura 4.11: Ferramenta desgastada.....	35
Figura 4.12: Diamante	36
Figura 4.13: Comparativo Resistência x Temperatura.....	37
Figura 4.14: Caracol de retificação.....	38
Figura 4.15: Dressamento do Rebolo.....	39
Figura 5.1: Componentes da Máquina.....	41

Figura 5.2: Fixação expansível das peças	42
Figura 5.3: Fixação não expansível das peças.....	42
Figura 5.4: Resistência ao revenimento de aço rápido e de aços ferramenta ligado e não ligado	44
Figura 5.5: Comparação de curvas de durezas dos aços rápidos com um aço ferramenta ao carbono em diferentes temperaturas.....	44
Figura 5.6: Escolha do substrato ideal.....	50
Figura 6.1: Capacidade de Máquina.....	54
Figura 6.2: Capacidade de Máquina.....	55
Figura 6.3: Detalhes da Capacidade de Máquina.....	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. TEORIA DAS ENGRENAGENS.....	14
2.1 História da Fabricação de Engrenagens.....	14
3. ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	18
3.1 Engrenagens.....	18
3.2 Tipos de Engrenagens.....	19
3.3 Características Geométricas	22
3.4 Geração de Dentes pela Curva Evolvente.....	24
3.5 Passo Diametral, Passo Circular e Módulo	26
3.6 Condições de Engrenamento.....	27
4. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO PARA ENGRENAGEM	28
4.1 Fresamento <i>Hobbing</i>	29
4.2 Entalhe <i>Shaping</i>	29
4.3 Rebarbamento <i>Shaving</i>	29
4.4 Retificação <i>Grinding</i>	30
4.5 Abrasivo Coríndon.....	32
4.6 Abrasivo CBN	34
4.7 O Dressamento	36
5. APLICAÇÃO	40
5.1. Montagens de Ferramentas para o Processo de Usinagem de Engrenagens	40
5.2 O Material.....	41
5.3 Fixação	41
5.4 Ferramenta.....	43
5.5 Materiais.....	43
5.6 Cobertura.....	47
5.7 Processo de Retificação	48
5.8 Novas Tecnologias com Utilização de Novos Compostos.....	50
6. ESTUDO DE CASO: SIMULAÇÃO DE USINAGEM PARA UMA ENGRENAGEM ESPECÍFICA.....	51
6.1 Considerações Finais	53

7. CONCLUSÃO.....	57
8. REFERÊNCIAS.....	58
9. ANEXOS	59
9.1 Capacidade da Máquina	59

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da competitividade global o método efetivo para vencer no mercado é aumentando a eficiência os processos de manufatura de engrenagens com máquinas mais eficientes, reduzindo assim custos e obtendo um aumento na produtividade.

Um completo conhecimento no processo de manufatura é absolutamente necessário para contra atacar as constantes necessidades dos mercados internacionais e obter os resultados finais de maneira rápida e flexível, isto não envolve somente inovação nas máquinas de corte de engrenagens e ferramentas, mas também no treinamento contínuo e educação profissional.

Com o crescimento do mercado de engrenagens, aumentou muito a competitividade entre os produtores de máquinas para este setor, sendo assim, para se garantir nesse mercado competitivo, os produtores tem de otimizar seu processo, reduzindo ao máximo suas perdas e desperdícios. É necessário um estudo aprofundado nos processos de fabricação, para que estes demandem o menor tempo improdutivo e suas máquinas e operadores tenham a maior produtividade e utilização.

A Liebherr Brasil, como uma das grandes produtoras de máquinas operatrizes, tendo ciência disso, permanece em constante desenvolvimento de melhorias de processo.

No presente trabalho estuda-se sobre a fabricação de engrenagens, realizando o acompanhamento de um estudo de caso do *try out* da instalação de uma máquina retificadora de engrenagens.

2. TEORIA DAS ENGRENAGENS

2.1 História da Fabricação de Engrenagens

De acordo com Dudley (1969) a engrenagem é um dos dispositivos mecânicos mais antigos utilizados pelo homem. Ela vem sendo utilizada por mais de cinco mil anos. Existe um registro de Aristóteles, sobre engrenagens, datado de aproximadamente 330 anos A.C (Antes de Cristo). Tal registro descreve com tamanha naturalidade o tema, isto é, a engrenagem naquela época não era tratada como uma novidade tecnológica, o que leva a crer que o conhecimento sobre as engrenagens é bem anterior a esta data.

Woodburry (1964) conta uma pequena história remetendo à fabricação de engrenagens e que tem início com as Primeiras Guerras Púnicas, no ano de 264 AC e duraram 23 anos. Durante o primeiro ano da Primeira Guerra Púnica, Hieron II subiu ao trono de Siracusa e firmou uma aliança com Roma. Mas Hieron, que nunca confiou em Roma, iniciou um programa de construção de esquadra que incluía um navio de guerra de dimensões nunca vistas antes. Naqueles tempos navios não eram possíveis de ser fabricados com tais dimensões. Logo Hieron requereu assistência de Arquimedes, uma das maiores personalidades científicas daquela época.

Arquimedes, após a solicitação de Hieron, desenvolveu um guindaste revolucionário que fez a fabricação do barco gigante ser possível, com a ajuda de poucos escravos. Este guindaste foi chamado de “barulkon”, e acredita-se que no desenvolvimento deste projeto ele tenha sido o criador do primeiro conjunto engrenagem-parafuso sem-fim, conforme figura 2.1. Nos séculos seguintes, o uso de engrenagens parafuso sem-fim difundiu-se por todo o mundo. Arquimedes, como de costume na época, apresentou a descrição de sua invenção na Biblioteca de Alexandria. 350 anos depois Alexandrian Heron, outro líder tecnocrata do mundo antigo, estudou este mecanismo e por volta de 120 DC, isto é, escreveu um livro sobre o *Balrukon*. Mais tarde, durante o terceiro século DC, Pappus descreveu o *Balrukon* resumindo seu trabalho, o qual consistia de quatro pares de trens de engrenagens com um parafuso sem fim adicionado. Pappus mencionou Arquimedes como o primeiro

inventor, e Reulleaux, um engenheiro alemão, usou a descrição de Heron para reconstruir e fazer um desenho do *Balrukon*.

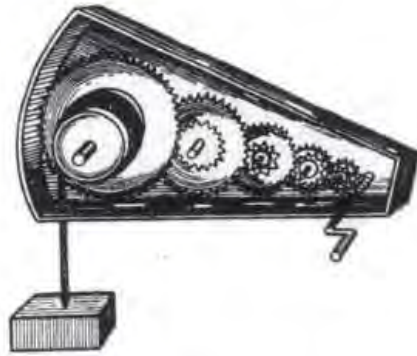


Figura 2.1 :O Barulkon de Arquimedes

Fonte: Woodburry (1964)

Ainda segundo Woodburry (1964), o próximo autor a mencionar o conjunto engrenagens-parafuso sem-fim foi o arquiteto romano Vitruvius. No seu livro “De Architectura”, publicado entre os anos 30-16AC, há uma descrição do hodômetro. Os romanos alugaram veículos de passageiros equipados com hodômetros. Neste dispositivo bolas pequenas eram deixadas cair uma a uma dentro de uma gaveta, cada uma equivalendo à distância de uma milha. Esta invenção forneceu o primeiro taxímetro já registrado, conforme vemos na figura 2.2. Os primeiros desenhos tecnicamente significantes de parafusos sem fim-engrenagens foram feitos por Leonardo da Vinci (1452-1519). Estes desenhos foram encontrados entre seus rascunhos e anotações (figura 2.3). O mais interessante dos rascunhos é a evidência que o princípio de auto travamento já era do conhecimento de Leonardo da Vinci.

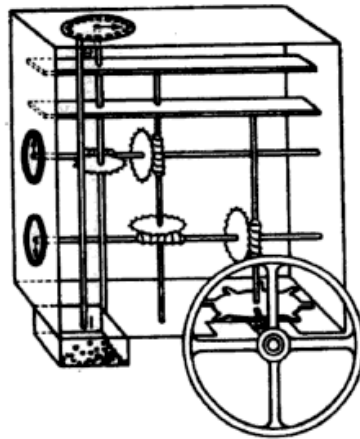


Figura 2.2: Taximetro de Vitruvius (Diels)

Fonte: Woodburry (1964)

Chegou-se à conclusão de que em unidades contendo eixos inclinados, entre eles parafusos sem fim-engrenagens, dois tipos diferentes de contatos ocorrem: deslizamento e rotação. Os quatro séculos que se sucederam à Era de Leonardo e a atual, em todos os livros técnicos publicados, parafusos sem fim-engrenagens podem ser encontrados em todos os lugares onde alta taxa de transmissão de engrenamento deve ser utilizada. A partir do momento os motores a vapor tornaram-se largamente utilizados, as máquinas ferramentas foram sendo utilizadas, isto começou na segunda metade do século 18, o conjunto parafusos sem fim-engrenagens se tornou um elemento de máquina popular.

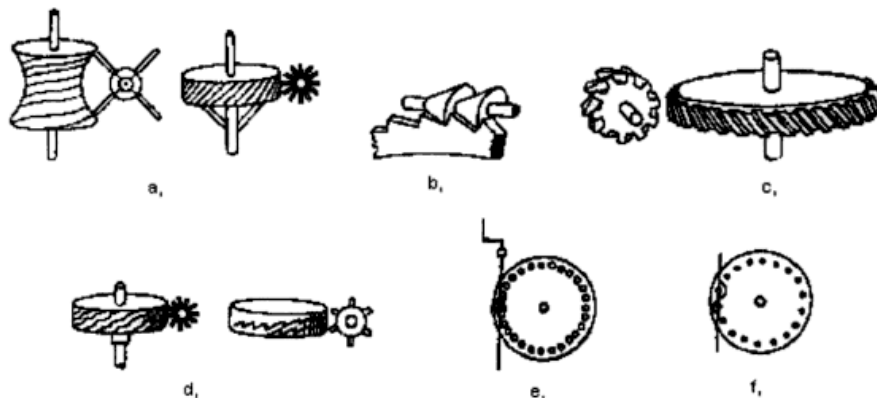


Figura 2.3: Rascunhos de parafusos sem fim-engrenagens feitos por

Leonardo da Vinci

Fonte: Woodburry (1964)

Nas duas décadas entre 1880-1900 o motor elétrico se tornou largamente utilizado. Infelizmente, devido à alta velocidade de eixo, o motor elétrico não pode utilizar estes sistemas na tecnologia do período, pois as engrenagens disponíveis não eram suficientes. Conjuntos parafusos sem fim-engrenagens, por causa da alta taxa de engrenamento, não foram adequados para as altas taxas de velocidade dos eixos. Estas unidades normalmente se superaqueciam, o desgaste era intenso e a técnica de lubrificação era ruim para baixas velocidades de eixos. Graxa lubrificante teve que ser utilizada, pois não havia mangueira para conter o óleo. O desenvolvimento de parafusos sem fim-engrenagens para altas velocidades de eixos apenas iniciou-se com a introdução de mangueiras vedadas para facilitar a lubrificação com óleo. Tornou-se claro que para reduzir as perdas friccionais, engrenagem e parafuso sem fim deveriam ser fabricados com materiais diferentes, ou seja, a engrenagem de aço e o parafuso sem fim de ferro fundido ou bronze. A história da tecnologia de geração de dente contém a uma relação interessante entre teoria e prática. A teoria remete a pelo menos 200 anos antes da geração dos dentes para rodas dentadas.

Haviam muitos poucos teóricos capazes de lidar com parafusos sem fim-engrenagens após os estudos de Arquimedes, e muito poucos técnicos capazes de aplicar o conhecimento em teoria. O fato é que nos séculos após Arquimedes a necessidade não se tornou primordial até a invenção do motor elétrico. As investigações teóricas precisaram andar a passos rápidos para dimensionar conjuntos parafusos sem fim-engrenagens com o desenvolvimento de motores elétricos. Os mais ilustres trabalhadores que lidaram com esta questão foram Bach e Stribeck.

Neste tempo o dimensionamento de rodas dentadas foram tratadas como se o dente fosse carregado em balanço. O trabalho então começou focando a precisão da geometria da engrenagem, o método desenvolvido foi somente teórico. Estas investigações sobre geometrias das engrenagens levaram ao conceito de engrenagem com dentes evolvente. Antigamente, todas as engrenagens feitas usando uma ferramenta com aresta reta eram chamadas engrenagens evolvente. Devido à precisão necessária o termo agora se refere apenas à engrenagem feita sob elevadas condições de controle e seus resultados servem para a prática de retificação também.

3. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

3.1. Engrenagens

As engrenagens são constituídas de elementos básicos, que podem variar de geometria e tamanho. Observe a configuração da engrenagem padrão exibido na Figura 3.1.

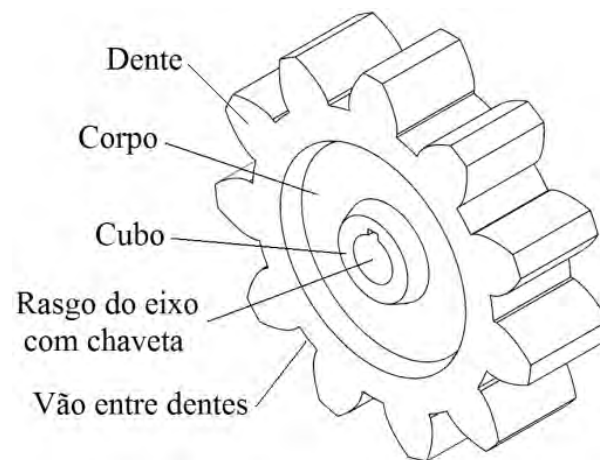


Figura 3.1: Configuração de engrenagem padrão
Fonte: Shigley (1981)

Toda a transferência de movimento e força é realizada diretamente pelo contato entre os dentes engrenados, tornando-os os principais elementos do engrenamento. A geometria do dente é extremamente importante para a eficiência da transmissão. Desta forma, sua fabricação deve ser rigorosa, não podendo haver variações nas distâncias entre os dentes e, principalmente, os perfis. Sua geometria é descrita por Shigley (1981) de forma precisa na imagem da Figura 3.2, de modo que permite uma total compreensão das dimensões e nomenclaturas das regiões que compõem os dentes de uma engrenagem.

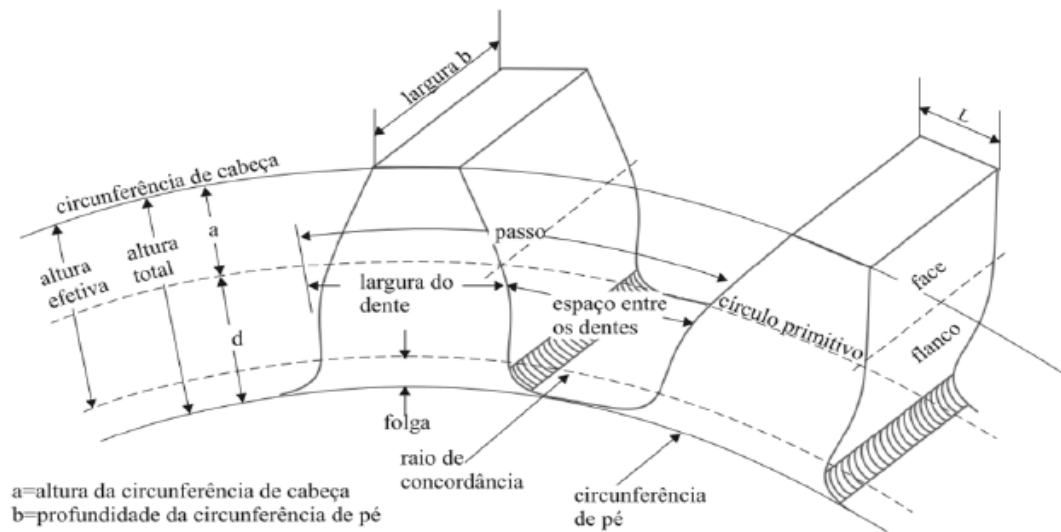


Figura 3.2: Geometria da Engrenagem

Fonte: Shigley (1981)

3.2 Tipos de Engrenagens

Conforme Stipkovic (1983) para adequar a melhor disposição construtiva ao melhor funcionamento de uma transmissão engrenada, os tipos de engrenagens e o posicionamento de seus eixos necessitam ser bem definidos pelos projetistas de engrenagens. Stipkovic (1983) mostra os tipos de engrenagens cilíndricas e de engrenamentos, sendo as engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais o produto escolhido para ser usinado com a ferramenta tipo caracol, objeto do presente trabalho. As figuras 3.3, 3.4 e 3.5, combinam os diferentes tipos de engrenagens com suas possíveis disposições construtivas, (posicionamento dos eixos).

Designação	Desenho	Posição do Eixo	Rendimento
Dentes Retos		Paralelos	Alto Rendimento 95-99%
Dentes Helicoidais			
Cremalheira			
Dentes Helicoidais		Cruzados	Próximo das engrenagens cilíndricas helicoidais

Figura 3.3: Engrenagens Cilíndricas

Fonte: Stipkovic (1983)

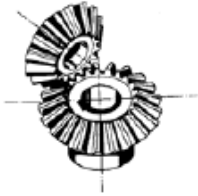
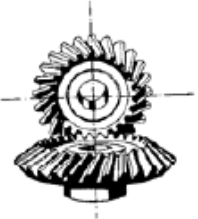
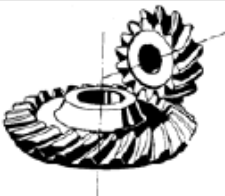
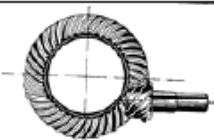
Designação	Desenho	Posição do Eixo	Rendimento
Dentes Retos		Cruzados	Próximo das engrenagens cilíndricas helicoidais (principalmente para dentes espirais ou hipoidais)
Dentes Inclínados			
Dentes Espirais			
Dentes Hipoidais		Reversos ou com deslocamento	

Figura 3.4: Engrenagens

Fonte: Stipkovic (1983)


Designação	Desenho	Posição do Eixo	Rendimento
Engrenagem coroa / sem fim		Cruzados	Baixos rendimentos 45-95%

Figura 3.5: Engrenagens Coroa Sem Fim

Fonte: Stipkovic (1983)

3.3 Características Geométricas

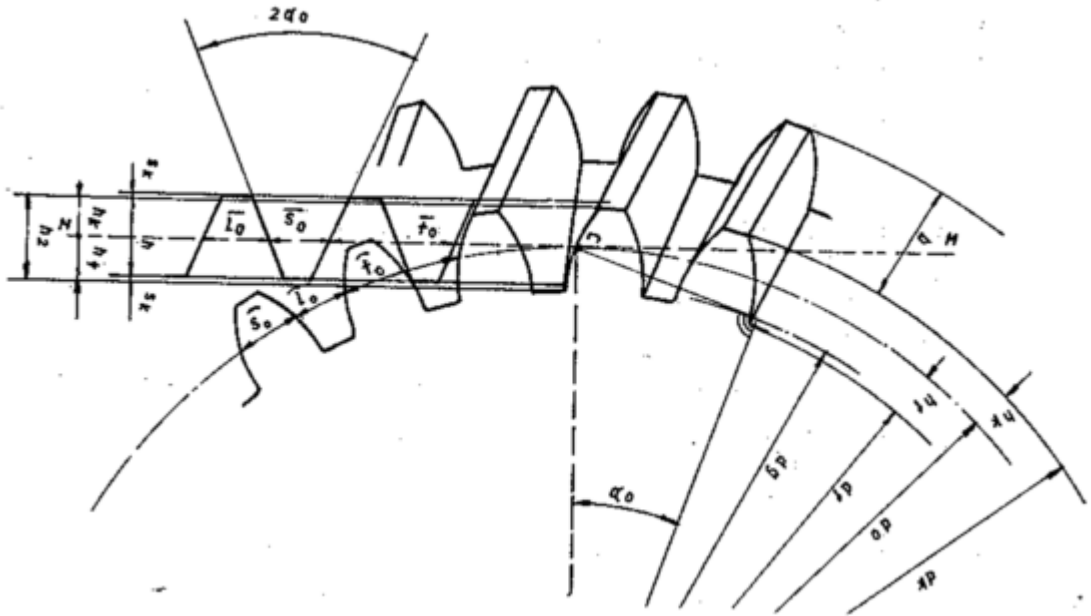


Figura 3.6: Engrenagem normal de perfil evolvente

Fonte: Stipkovic (1983)

Na figura 3.7 Stipkovic (1983) nos informa a respeito das denominações, dos símbolos e das expressões relacionadas à geometria da engrenagem acima demonstrada Figura 3.6. (engrenagens normais com ângulo de pressão 20°).

Denominação	Símbolo	Fórmula
Número de dentes	z	$z = \frac{d_0}{m}$
Módulo	m	$m = \frac{t_0}{\pi}$ ou $m = \frac{d_0}{z}$
Passo	$\bar{t}_0 = t_0$	$\bar{t}_0 = m \cdot \pi$
Espessura no primitivo	$\bar{s}_0 = s_0$	$\bar{s}_0 = \frac{t_0}{2}$ (com folga de flanco nula)
Vão entre dentes no primitivo	$\bar{x}_0 = x_0$	$\bar{x}_0 = \frac{t_0}{2}$ (com folga de flanco nula)
Diâmetro primitivo	d_0	$d_0 = m \cdot z$ ou $d_{0_1} = \frac{2 \cdot a_0}{(i+1)}$
Distância entre centros	a_0	$a_0 = \frac{d_{0_1} + d_{0_2}}{2} = \frac{(z_1 + z_2)}{2} \cdot m$
Altura comum do dente	h	$h = 2m$
Altura da cabeça do dente	h_k	$h_k = m$
Altura do pé do dente	h_f	$h_f = 1,2 \cdot m$
Altura do dente	h_z	$h_z = 2,2 \cdot m$
Folga da cabeça	S_k	$S_k = 0,2 \cdot m$
Diâmetro externo ou da cabeça	d_k	$d_k = d_0 + 2 \cdot h_k$ ou $d_k = (z + 2) \cdot m$
Diâmetro do pé do dente	d_f	$d_f = d_0 - 2 \cdot h_f$
Diâmetro de base	d_g	$d_g = d_0 \cdot \cos \alpha_0$
Ângulo de pressão	α_0	20°
Relação de transmissão	i	$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{0_2}}{d_{0_1}} = \frac{n_1}{n_2}$
Largura do dente	b	
Passo medido na linha de engrenamento	t_e	$t_e = t_0 \cdot \cos \alpha_0$
Grau de recobrimento	ϵ	$\epsilon = \frac{E_1 E_2}{t_e}$

Figura 3.7: Especificação das partes construtivas de uma engrenagem

Fonte: Stipkovic (1983)

3.4 Geração de Dentes pela Curva Evolvente

De acordo com material da Liebherr, a técnica de transmissão por engrenagens mais usada é a geração de dentes pela curva evolvente. A geração de dentes de engrenagens pela curva evolvente é melhor descrita por uma linha imaginária fortemente esticada desenrolada em um cilindro base como ilustrado na figura 3.8.

A aresta frontal da linha descreve, então, uma evolvente. Uma curva evolvente movendo-se junto com a hélice de um cilindro base, produz um flanco. O disco circular é o círculo base com o diâmetro db . Tendo estabelecido o círculo base, a evolvente é completamente definida, embora não seja a extensão para uma dada engrenagem. Existem duas evolventes para cada círculo base, a evolvente esquerda e direita, dependendo da direção que a linha se desenrola.

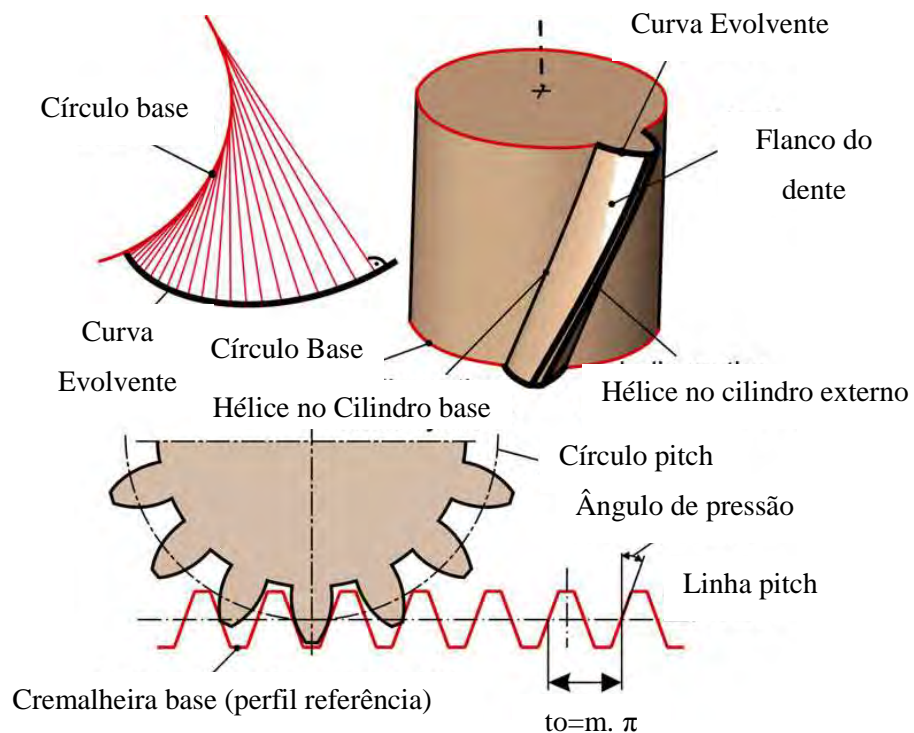


Figura 3.8: Dente de engrenagem e termos de engrenagens

Fonte: Adaptado de *Gear Cutting Technology* (2004)

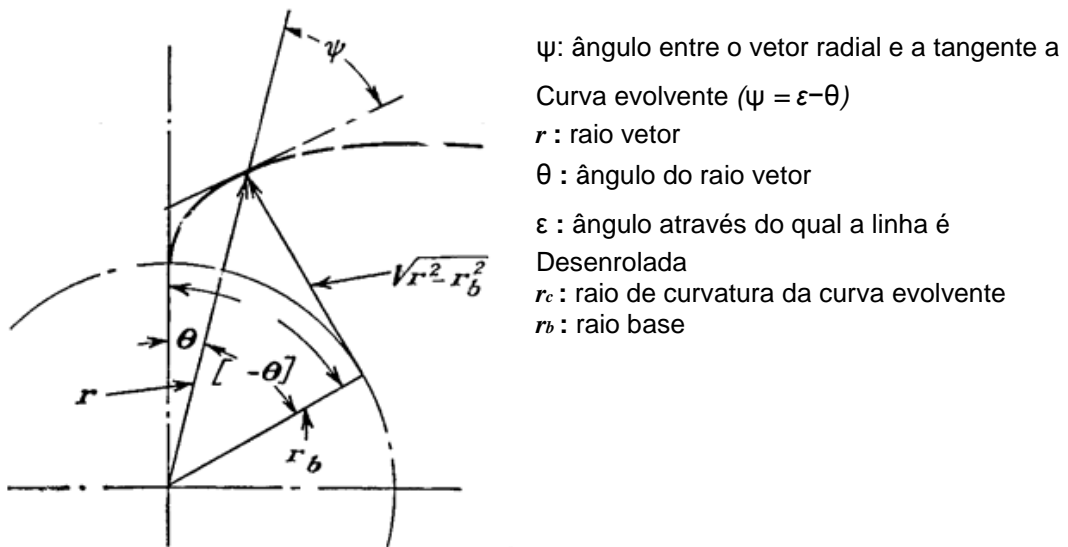


Figura 3.9: Perfil Envolvente

Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

A seguir encontram-se detalhados alguns termos importantes para a compreensão dos termos utilizados para engrenagens:

A circunferência primitiva, ou de passo (*pitch circle*), serve de base na medição das engrenagens. Este perímetro é onde teoricamente todos os cálculos são gerados e seu diâmetro é chamado de diâmetro primitivo. As circunferências primitivas são tangentes entre si quando duas engrenagens estão engrenadas, conforme mostra a Figura 3.10.

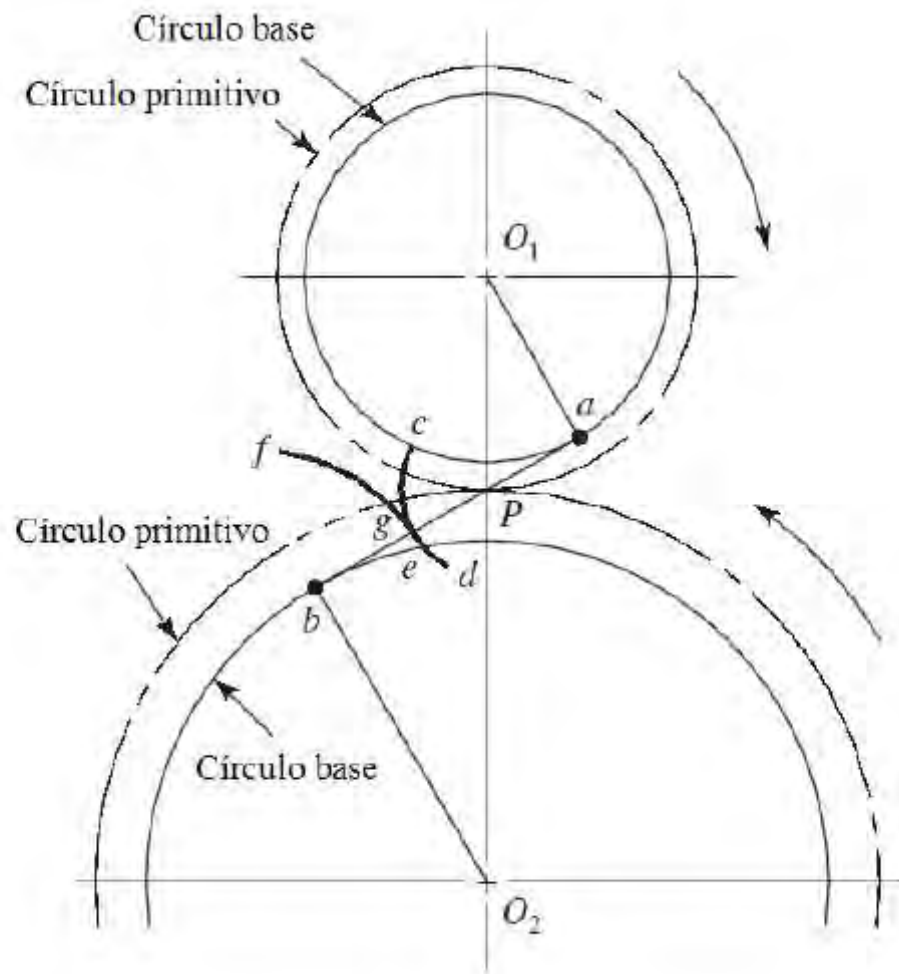


Figura 3.10: Circunferência primitiva
Fonte: Stipkovic (1983)

3.5 Passo Diametral, Passo Circular e Módulo

O passo diametral é a razão entre o número de dentes da engrenagem e o diâmetro primitivo. Logo, é recíproco do módulo. O passo circular de uma engrenagem é a distância, medida na circunferência primitiva, entre pontos correlativos de dentes vizinhos. Outra análise pode-se estabelecer que o passo seja a soma da espessura do dente com o vão frontal. O módulo é a razão entre o diâmetro primitivo da engrenagem e o número de dentes. Outros dois parâmetros, como indicado na Figura 3.11, utilizados para definir as seções dos dentes são: o adendo ha , distância entre o diâmetro externo da e o diâmetro primitivo do dente d , e o dedendo

hf , distância entre o diâmetro primitivo e diâmetro de raiz do dente df , portanto estes dois parâmetros definem a altura total do dente h .

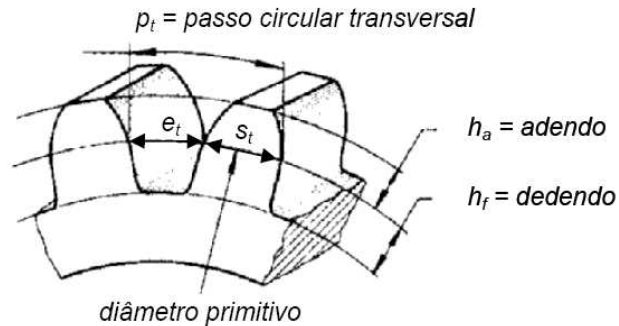


Figura 3.11: Seção de dente de engrenagem

Fonte: Stipkovic (1983)

3.6 Condições de Engrenamento

O ponto de engrenamento é o ponto de contato entre o flanco de uma engrenagem e o flanco da outra engrenagem. Durante o movimento de rotação das engrenagens, o ponto de engrenamento move sobre o perfil. A linha de contato é a soma de todos os pontos de engrenamento. Cada par engrenado tem dois planos de contato – um plano de contato para o flanco direito e um para o flanco esquerdo. O comprimento do curso de contato é a porção da linha de contato que define a área de flancos com dente ativo.

4. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO PARA ENGRENAGEM

As operações de fresamento, retificação e entalhe serão os métodos focados neste trabalho por serem os de maior importância para o mercado de fabricação de engrenagens para transmissão automotiva, nicho onde se encontram grande parte dos clientes Liebherr Brasil.

Segundo Lynwander (1983), dois são os processos básicos de fabricação de dentes de engrenagem: o processo de geração e o processo de conformação. A ferramenta de corte com a forma de uma engrenagem ou uma cremalheira pode ser utilizada para o corte dos dentes de uma engrenagem no *blank*. A geometria da ferramenta em conjunto com a máquina apropriada proporciona as mesmas condições de contato ilustradas na figura 4.1:

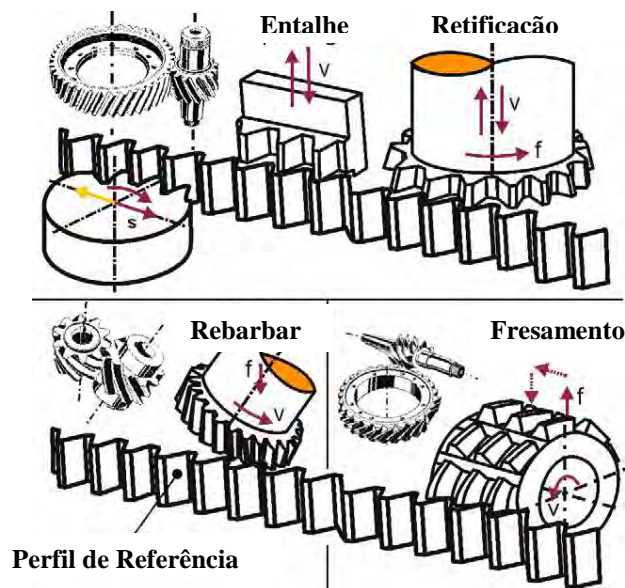


Figura 4.1: Condições de contato

Fonte: Adaptado de *Gear Cutting Technology* (2004)

4.1 Fresamento *hobbing*

O processo mais comum utilizado para o corte dos dentes de engrenagem é conhecido por *hobbing*, segundo Lynwander (1983). Neste processo o dente de engrenagem é gerado com a ferramenta de corte (*hob*) e o *blank* (engrenagem) rotacionando constantemente enquanto que o *hob* avança em direção ao *blank*. O *hobbing* é um processo versátil e econômico para corte de dentes de engrenagem a sua única restrição seria para a fabricação de engrenagens e dentes internos e quando não existe espaço axial suficiente para a saída de ferramenta. Para esta situação o processo de entalhe *shaping* é uma solução.

4.2 Entalhe *shaping*

Ainda segundo Lynwander (1983), o processo de entalhe *shaping* também é um processo de geração de dentes onde os dentes da ferramenta de corte têm o mesmo formato dos dentes da engrenagem conjugada (*blank*) sendo cortada. A ferramenta de corte e o *blank* (engrenagem) são posicionados de modo que seus eixos de rotação apresentem um afastamento. À medida que a ferramenta (*shaper*) gira em relação à engrenagem, a ferramenta avança axialmente na direção do centro do *blank*. Se uma engrenagem de dente reto está sendo gerada, então o caminho do avanço axial é uma linha reta; entretanto, para engrenagens de dentes helicoidais o caminho percorrido para o avanço da ferramenta será um movimento helicoidal que é definido por guia em hélice.

4.3 Rebarbamento *shaving*

O processo denominado rebarbamento *shaving* é uma operação de acabamento que utiliza uma ferramenta de aço rápido, endurecida e retificada que tem a forma de uma engrenagem helicoidal. O processo de rebarbamento *shaving* melhora o erro de espaçamento entre dentes, o perfil, o passo, o batimento e a superfície de acabamento que foram geradas no fresamento *hobbing* ou no entalhe *shaping*. Portanto, é um processo que ocorre antes do tratamento térmico. A ferramenta de corte no processo de

rebarbamento *shaving* é casada com o *blank* (engrenagem) de maneira que seus eixos de rotação se cruzem (ferramenta e engrenagem). À medida que ferramenta e engrenagem rotacionam, a distância entre as duas diminui em pequenos incrementos.

4.4 Retificação *grinding*

De acordo com o Material Interno Liebherr, o processo de retificação cilíndrica é contínuo, sendo utilizados rebolos caracóis cilíndricos (coríndon ou CBN) com uma ou múltiplas hélices. Na retificação cilíndrica a peça e a ferramenta realizam seus movimentos em combinação da roda sem fim e caracol. Deslocando a ferramenta sobre a largura de usinagem da peça, é produzido o movimento de avanço e assim o dente. (Figura. 4.2)

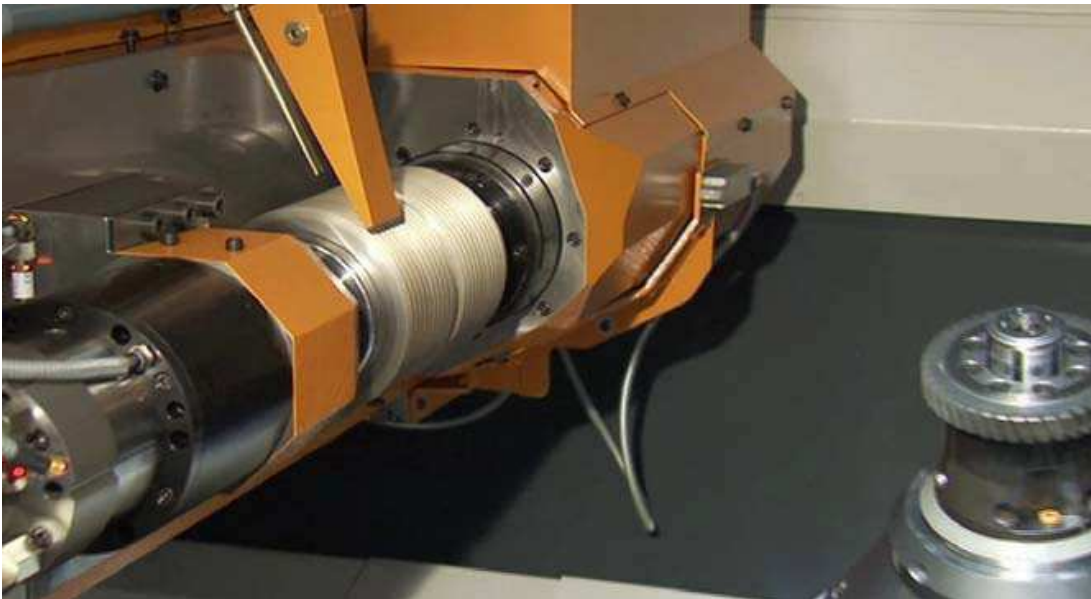


Figura 4.2: Processo de Retificação cilíndrica

Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

No processo de retificação de forma, os perfis da engrenagem são produzidos sucessivamente na peça através de uma ferramenta em forma de disco (coríndon ou CBN). Neste processo, o perfil do reboło corresponde ao perfil da engrenagem. Para obter uma melhor autonomia. Há casos em que se pode empregar a utilização de vários rebolos dispostos lado a lado para a retificação de vários perfis simultaneamente.

Segundo o Material Interno Liebherr, o processo de retificação de engrenagens depende de diversos fatores, dentre os quais são destacados abaixo:

- Operador: Responsável pela qualificação, consciência e concentração e condições de trabalho;
- Máquina: Precisão de produção e instalação, rigidez estática e dinâmica, precisão do posicionamento, estabilidade térmica;
- Peça: Material, geometria, dureza, deformações;
- Dispositivo de fixação: Princípio de fixação;
- Ferramenta: Tipo de ferramenta (caracol, disco), tipo de grão (CBN, coríndon), tamanho ou ligação do grão;
- Dressamento (opcional): Forma do dressador, tipo do dressador, processo de dressamento;
- Refrigeração: Forma do bico, tipo de lubrificante, temperatura;
- Tecnologia: Procedimento de usinagem, variáveis de ajuste, parâmetros de usinagem; e
- Objetivos da usinagem: Alta qualidade de usinagem da peça, curto tempo de usinagem da peça, longa vida útil da ferramenta.

Dentre os abrasivos que são utilizados para a retificação de materiais de aço, os que mais se destacam são o *coríndon*, nas suas mais variadas formas e o CBN (*Cubic Boron Nitride*), um material de fabricação exclusivamente sintética. (Figuras 4.3 e 4.4)



Figura 4.3: Coríndon

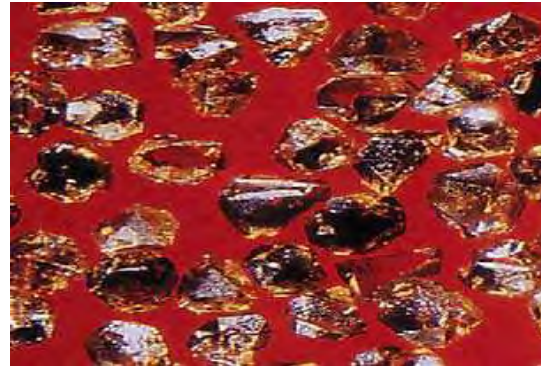


Figura 4.4: Nitreto cúbico de Boro

Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

4.5 Abrasivo *Coríndon*

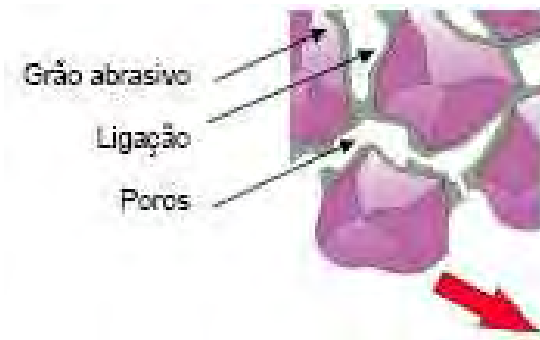
O *coríndon* é um mineral de óxido de alumínio. As propriedades mecânicas dos cristais produzidos são, em larga medida, determinadas pelo seu grau de pureza. Os grãos são, na maioria dos casos, unidos numa ligação cerâmica. Essa ligação determina a resistência face ao desprendimento das partículas. Um rebolo macio liberta mais rapidamente os grãos do que um rebolo duro.

Os requisitos necessários a serem cumpridos pelos grãos abrasivos seguem abaixo:

- consoante o grão abrasivo, maior tenacidade ou maior fragilidade;
- forma granular adequada, que garanta uma boa capacidade de corte;
- Composição (componentes principais) de um rebolo;
- Grão abrasivo;
- Ligação;
- Poros (naturais ou artificiais); e
- A dureza de um rebolo refere-se à resistência que a ligação oferece face ao desprendimento do grão abrasivo, e não à dureza do grão abrasivo.

Dentre as diversas tipos do abrasivo *coríndon* destaca-se o *coríndon* nobre, ilustrado na Figura 4.5 e 4.6.

Desprendimento total



Macro desprendimento



Figura 4.5: Desprendimento Total

Figura 4.6: Macro desprendimento

Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

Destaca-se também o *coríndon* sintetizado ilustrado na figura 4.7.

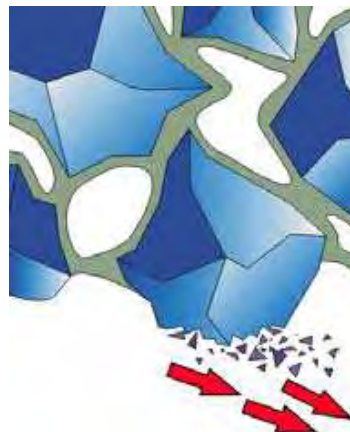


Figura 4.7: Coríndon Sintetizado Microdesprendimento

Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

4.6 Abrasivo CBN

O nitreto de boro cúbico (CBN) é um subproduto da síntese do diamante (100% sintético) e, a seguir ao diamante, é o segundo material mais duro.

A sua enorme condutibilidade térmica permite um corte mais frio, em comparação com o processamento com rebolos de *coríndon*.

Dentre as suas características destacam-se:

- Colocação dos grãos numa só camada sobre corpos metálicos;
- Não dressável; e
- A capacidade de corte vai diminuindo com o tempo de utilização.

A estrutura dos grãos de CBN são fixados sobre um corpo de aço temperado por meio de uma ligação galvânica. (Figura 4.8 e 4.9)

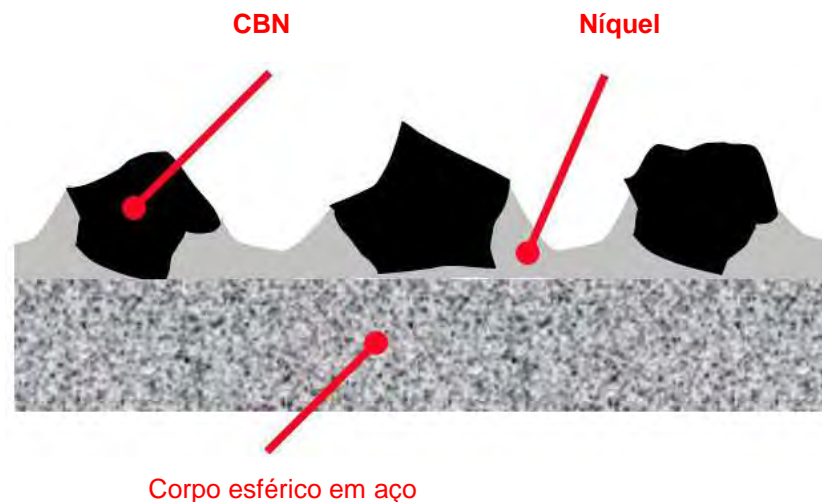


Figura 4.8: Estrutura
Fonte: Gear Cutting Technology (2004)

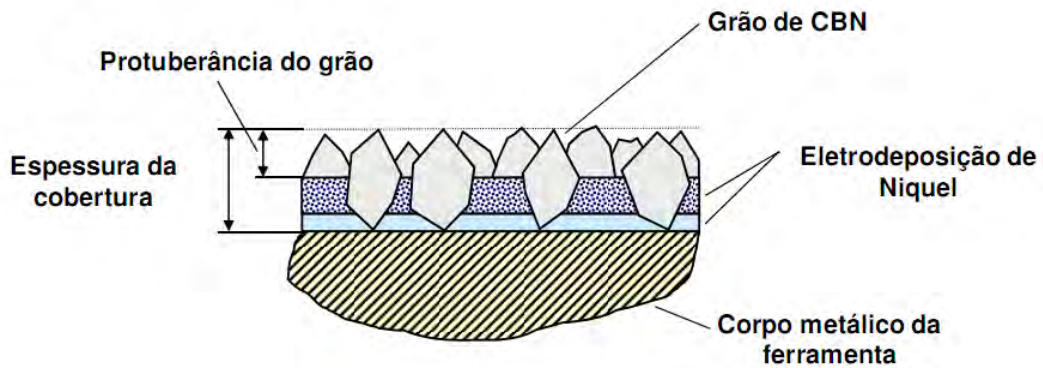


Figura 4.9: Estrutura
Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

Dentre as vantagens dos corpos retificadores com revestimento galvânico, destacam-se:

- boa aderência;
- grandes espaços para aparas;
- muito adequados para materiais de aparas largas;
- potência de retificação extremamente elevada; e
- não necessita de dressamento.

As figuras 4.10 e 4.11 ilustram a diferença entre uma ferramenta nova e uma ferramenta desgastada, foi atingido o final da vida útil quando a altura do revestimento em qualquer ponto do perfil estiver tão desgastada que já não existem grãos salientes, ou seja, já não existe qualquer espaço para aparas.

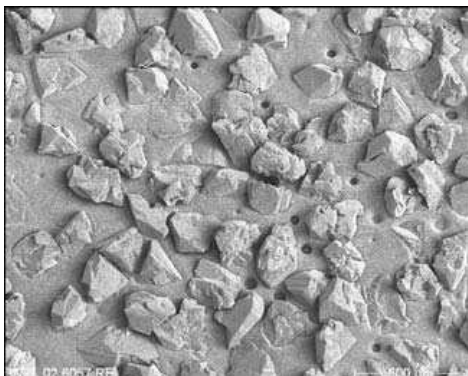


Figura 4.10: Ferramenta Nova

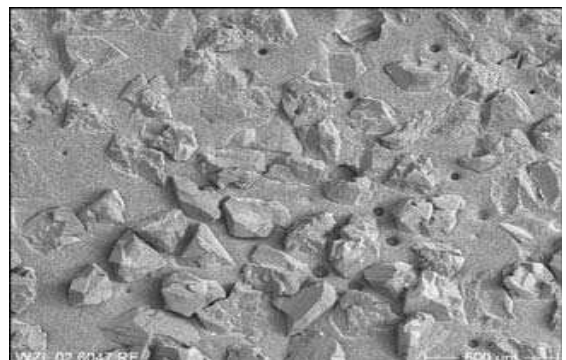


Figura 4.11: Ferramenta Desgastada

Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

4.7 O Dressamento

O dressamento de uma ferramenta consiste em perfilar – gerar a necessária geometria da ferramenta (rotação, cilíndricidade, perfil) e em afiar – produzir uma superfície altamente cortante no rebolo. Na unidade dressadora podem ser dressados tanto caracóis de *coríndon* como rebolos perfilados de *coríndon*. É possível influenciar o ângulo de ataque no processo de retificação cilíndrica. Deste modo, é possível otimizar o ângulo de ataque para o flanco direito e esquerdo em separado ou efetuar um entrelaçamento exato ao longo do eixo do caracol de retificação. É possível programar a velocidade e o sentido de rotação do dressador diamantado, é possível influenciar a rugosidade e a sensibilidade a queimaduras dos flancos direito e esquerdo. Através do dressamento na máquina atinge-se uma elevada precisão de rotação da ferramenta, o que se traduz numa menor ondulação e numa melhor forma do perfil.

Para dressar (perfilar e afiar) rebolos é necessário um material com uma dureza superior que resista o máximo tempo possível ao "parceiro de corte" - o abrasivo. Por isso se utiliza o diamante nas suas mais variadas formas. O diamante é composto por carbono puro (Figura 4.12). A superioridade absoluta do diamante face aos produtos abrasivos é a sua dureza. Mas, dado que acima dos 900 °C ocorre a grafitização do diamante, é necessário evitar temperaturas muito elevadas. Só assim é que o diamante pode ser utilizado eficazmente como dressador para rebolos. A Figura 4.13 apresenta a comparação Resistência x Temperatura.



Figura 4.12: Diamante
Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

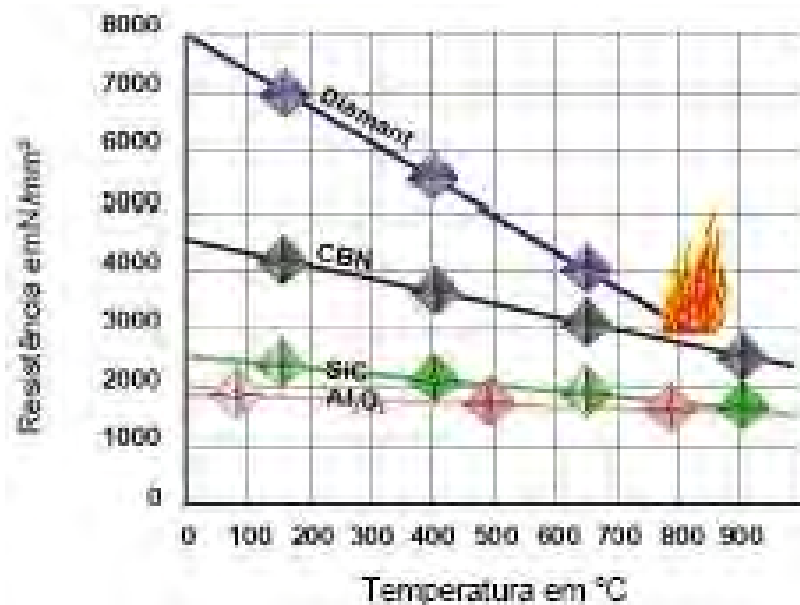


Figura 4.13: Comparativo Resistência x Temperatura
Fonte: Gear Cutting Technology (2004)

Na retificação cilíndrica contínua é usado um caracol de retificação como perfil de cremalheira. A forma evolvente dos dentes é produzida através da rotação da roda dentada ao longo do caracol. Durante a retificação, o deslocamento tangencial da roda dentada (*shifting*) em relação ao caracol vai provocando um contato contínuo com novas partes cortantes do caracol de retificação. Levando-se em conta a largura do caracol e a velocidade de *shifting*, é possível processar uma série de rodas dentadas nos intervalos dos processos de dressamento. A precisão do caracol de retificação determina, em larga medida, a precisão do dentado. Para o dressamento do caracol de retificação usam-se conjuntos de discos de diamante ou rolos perfilados de diamante.

O caracol de retificação (figura 4.14) gira a uma velocidade relativamente baixa. A aproximação radial ocorre nos pontos de inversão do movimento de avanço axial.



Figura 4.14: Caracol de retificação
Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

O perfilamento com rolos perfilados de diamante tem interesse para operadores que têm um baixo espectro de peças a maquinar e grandes quantidades de peças. Toda a informação da roda dentada está representada na ferramenta dressadora, pelo que a precisão das ferramentas dressadoras ganha ainda maior importância. Para além dos flancos, é simultaneamente perfilada a cabeça do caracol de retificação. Durante o perfilamento não existe qualquer possibilidade de correção. A vantagem destas ferramentas é que demoram pouco tempo a ajustar. Os rolos perfilados de diamante para a retificação cilíndrica contínua podem ser usados para muitos processos de dressamento. Posteriormente, em caso de imprecisões do perfil na roda dentada, o revestimento diamantado pode ser retificado pelo fabricante da ferramenta de diamante. A operação de retificação pode ser repetida até quatro vezes, desde que o revestimento não esteja danificado. Depois disso, é geralmente necessário aplicar um novo revestimento nas ferramentas, isto é, o corpo base é decapado e revestido com um novo revestimento diamantado.

Na operação de dressamento do perfil, a ferramenta percorre um trajeto pré-definido, ao longo do qual vai produzindo os contornos do rebolo. O dressador tem a forma de um rolo perfilado rotativo (figura 4.15).



Figura 4.15: Dressamento do Rebolo
Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

Em virtude destas diferenças relacionadas com os processos, o processo de dressamento está sujeito a fatores de influência fundamentais, que podem ter amplas repercussões no resultado do dressamento. No caso do dressamento de forma, é a geometria do dressador (geralmente o raio da ferramenta), bem como o grau de sobreposição U_d . Durante o dressamento, as ferramentas rotativas podem rodar no mesmo sentido ou no sentido contrário ao do rebolo. A razão da velocidade entre o rebolo e o dressador é mais uma variável que influencia o resultado de dressamento, no caso das ferramentas dressadoras rotativas. Através do dressamento pretende-se regenerar um rebolo que já não pode ser utilizado no processo de retificação. O processo de dressamento é fundamental para conseguir cumprir as suas tarefas, a precisão das medidas e da forma e a qualidade da superfície da peça trabalhada.

5. APLICAÇÃO

Para o acabamento dos dentes de engrenagens pode-se utilizar o processo de retificação, sendo diferenciado por uma elevada precisão, boa usinabilidade de materiais duros, exatidão dimensional. Além do mais, para a usinagem de engrenagens pequenas e médias a retificação cilíndrica possibilita uma produção em larga escala com um custo reduzido.

Já no caso de engrenagens de tamanhos maiores, produção de protótipos e para lotes de pequenos tamanhos a retificação de forma (perfil) com rebolos dressáveis permite uma maior flexibilidade, sendo a melhor solução.

5.1. Montagens De Ferramentas Para O Processo De Usinagem De Engrenagens

A máquina Liebherr utilizada para retificação de engrenagens é denominada LCS a qual utiliza ferramentas de *coríndon* e CBN adequando-se às necessidades do cliente. Componentes da máquina:



Figura 5.1: Componentes da Máquina
Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

5.2 O Material

Os métodos de usinagem de acabamento devem ser ajustados de acordo com o processo a ser utilizado. Na maioria dos casos acabamento se limita aos flancos dos dentes, devido a esta área do dente ser a de contato com os dentes conjugados.

5.3 Fixação

De acordo com o Material Interno Liebherr, os dispositivos de fixação podem ser subdivididos em dois grupos: (Figuras 5.2 e 5.3)

1. Fixação expansível das peças a maquinar
2. Fixação não expansível das peças a maquinar

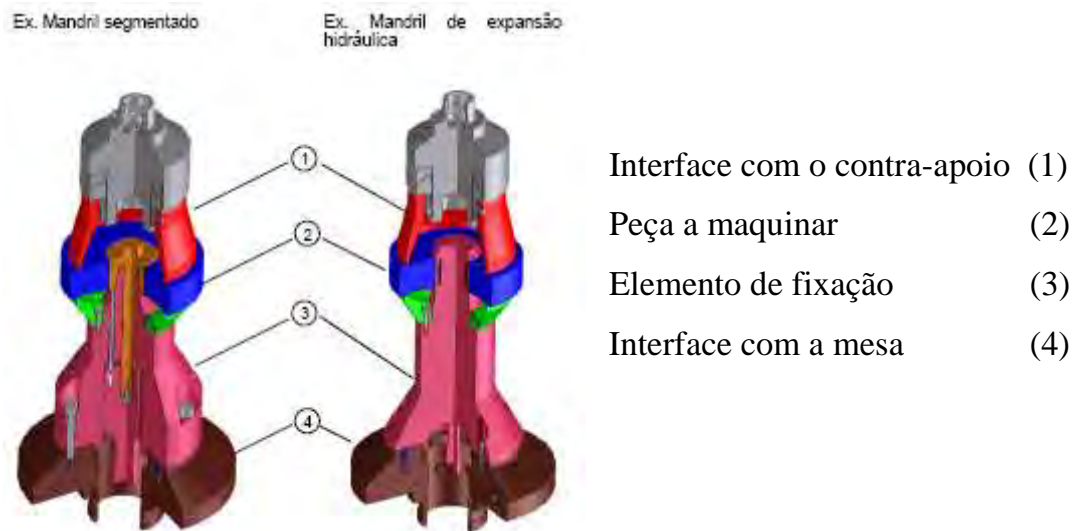


Figura 5.2: Fixação expansível das peças

Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

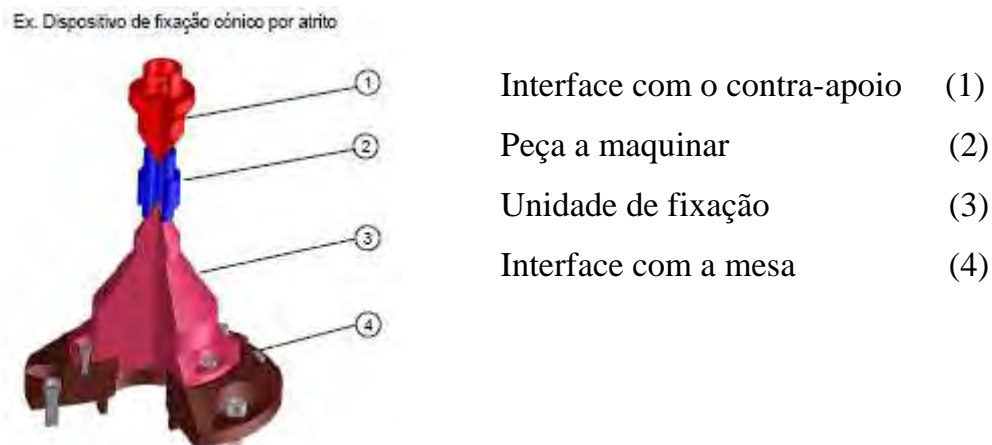


Figura 5.3: Fixação não expansível das peças

Fonte: *Gear Cutting Technology* (2004)

Para a correta fixação da peça deve-se atentar a cuidados essenciais, tais como, o mandril de fixação na mesa e a ponta de fixação no contraponto devem estar corretamente ajustados; o mandril segmentado deve estar construído de modo que, durante a usinagem, não sejam transmitidas quaisquer vibrações para o interior da peça; a peça não deve ser deformada pelas forças de fixação; deve ser verificado a existência do perigo de uma colisão com o dispositivo de fixação, especialmente na

área de entrada e saída do dentado; a posição do dentado a ser trabalhada deve encontrar-se dentro do curso axial utilizável da máquina.

5.4 Ferramenta

A ferramenta de corte é projetada ao cliente especificamente de acordo com o processo que será utilizado. Os rebolos ou caracóis de retificação são classificados em ferramentas "dressáveis" ou "não dressáveis".

Ferramentas dressáveis: são ferramentas com ligação cerâmica. O perfil é obtido através do dressador na retificadora. Como material abrasivo são utilizados *coríndon* nobre e *coríndon* sintetizado. Quando é atingido o final da vida útil por processo de dressamento, a ferramenta pode ser novamente perfilada e afiada na máquina. Após um número *X* de processos de dressamento, a ferramenta está desgastada e tem de ser retirada da máquina e ser substituída por uma nova.

Ferramentas não dressáveis: Estas são compostas por um corpo base de aço e um revestimento de CBN. Os grãos de CBN são ligados mediante ligações galvânicas de uma camada. Quando é atingido o final da vida útil, a ferramenta tem de ser reenviada ao respectivo fabricante, onde é decapeada e revestida de novo. A ferramenta determina, ao mesmo tempo, o tipo de processo de retificação (retificação cilíndrica e retificação de perfil).

5.5 Materiais

5.5.1 HSS convencional – aço rápido convencional

Segundo Chiaverini (1977), esses aços receberam o nome de aço rápido, pois com o seu uso como material de ferramenta as velocidades de corte puderam ser aumentadas em uma ordem de grandeza em relação às ferramentas de aço carbono comum. Aço rápido, *High Speed Steel* (HSS) é uma liga de aço composta por Aço rápido, *High Speed Steel* (HSS), em inglês, Liga de aço composta por 0,67 a 1,3% C, 5

a 12% Co, 3,75 a 4,5% Cr , 0,3% Mn, 4 a 9% Mo , 2 a 20% W, 1 a 5% V e apropriado tratamento térmico.

O uso principal do aço rápido continua a ser na fabricação de várias ferramentas de corte: brocas, fresas, serras, bits de usinagem, discos para cortar engrenagens, plainas, etc., embora também seja usado em prensas ultimamente.

O comportamento dos aços pode ser visto nas figuras 5.4 e 5.5, boa usinabilidade, bom desempenho, dureza, tenacidade e resistência ao desgaste.

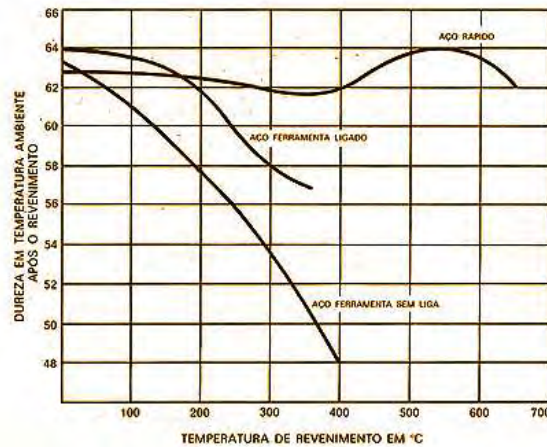


Figura 5.4: Resistência ao revenimento de aço rápido e de aços ferramenta ligado e não ligado

Fonte: Aços Villares S.A.

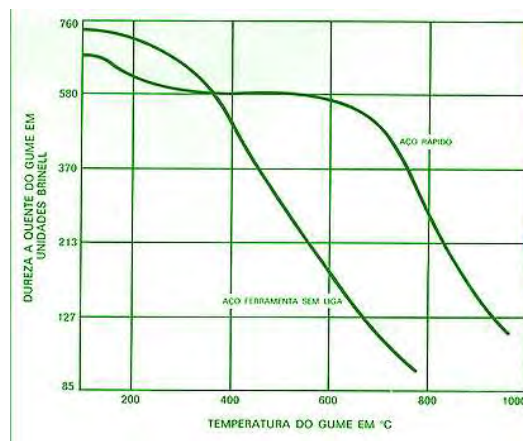


Figura 5.5: Comparação de curvas de durezas dos aços rápidos com um aço ferramenta ao carbono em diferentes temperaturas

Fonte: Aços Villares S.A.

5.5.2 Metal duro

De acordo com Chiaverini (1977), o metal duro é um pó metalúrgico consistindo de partículas duras, resistentes ao desgaste, ou carbonetos ligados uns aos outros por um ligante metálico. Os carbonetos cementados variam consideravelmente no que diz respeito às propriedades, sendo uns mais duros que os outros e alguns muito mais tenazes. As partículas duras, resistentes ao desgaste, são normalmente os carbonetos metálicos de tungstênio, titânio, tântalo e nióbio. Quando ligados ao cobalto eles formam uma gama de composições de metal duro para se adaptar a quaisquer aplicações de ferramenta necessárias. O desenvolvimento das ferramentas de corte para a obtenção de altas taxas de remoção de metal é em grande parte o resultado da adição de uma percentagem maior de partículas duras ou de carbonetos ao material. Assim, o aço-carbono endurecido com apenas uma pequena percentagem de carbonetos ou o aço rápido, que contém por volta de 20% de carbonetos, apresentam uma resistência ao desgaste consideravelmente menor que o metal duro, o qual contém cerca de 90% de carbonetos. O metal duro é composto de carbonetos de tungstênio, titânio e tântalo-nióbio, ligados por uma fase ligante de níquel e cobalto (aglomerante).

O metal duro é utilizado em machos, alargadores, fresas, brocas e ferramentas para rosqueamento.

As principais características do metal duro são: elevada resistência à compressão, alta dureza, elevada resistência ao desgaste, resistência à flexão, tenacidade limitada, resistência ao calor.

5.5.3 PM-HSS – aço rápido sintetizado

O CIMM (Centro de Informação Metalmeccânica) diz que é o que existe de melhor e mais moderno hoje, podendo ser utilizado tanto para corte a seco como com óleo lubrificante. O aço rápido sintetizado é um aço com carbonetos extremamente finos e uma estrutura uniforme, sem segregação. Na produção dos PM-HSS, os pós são obtidos através de aços previamente ligados pelo processo de atomização, o que garante partículas contendo carbonetos bem finos e distribuídos praticamente como no

estado líquido. Essas partículas apresentam uma forma esférica, e são selecionadas para possuírem uma dimensão uniforme e garantir homogeneidade na microestrutura. Normalmente, a granulação dos carbonetos é três vezes menor do que no HSS convencional. Por ser um aço melhor do que o HSS convencional, o aço rápido sintetizado pode reduzir consideravelmente o custo da usinagem de um produto como: aumentar a vida da ferramenta, menor frequência de troca, aumento do volume de material removido por unidade de tempo, melhor acabamento superficial da peça usinada.

Entre suas características destacam-se: baixa resistência à tração (por possuir porosidade), alta resistência à compressão, melhor usinabilidade na retifica, maior tenacidade (devido à granulação fina), alta resistência térmica, excelente resistência ao desgaste por abrasão.

5.5.4 Cerâmica

As ferramentas cerâmicas de óxido de alumínio podem ser dressáveis, ou seja, elas podem ser perfiladas conforme o perfil da engrenagem que se deseja retificar. O disco (ferramenta) que é utilizado para dresser as ferramentas cerâmicas possuem diamantes em sua cobertura, por ser um material muito duro.

Possui alta dureza a quente, permitindo altas velocidades de corte; elevada estabilidade química do óxido de alumínio, não havendo fenômenos de difusão e oxidação; alta resistência à compressão e baixo coeficiente de atrito. Esse tipo de material opera com velocidade de corte superior ao do metal duro, resultando no aumento da taxa de remoção do cavaco e melhor acabamento da superfície. Quanto às desvantagens, podem ser ressaltados a alta fragilidade e a condutibilidade térmica baixa, sendo muito sensível a variações bruscas de temperatura.

5.5.5 CBN (Nitreto Cúbico de boro)

CBN é um tipo de material utilizado para retificar dentes de engrenagens. Ele é utilizado apenas para altas produções principalmente nas indústrias de automóvel e caminhões/ônibus. É um dos materiais mais duro para ferramentas de corte.

Na usinagem é um material mais estável que o diamante e pode usinar algumas ligas ferrosas sem o problema de difusão. Seu uso proporciona um tempo de vida maior à ferramenta, com conseqüente diminuição do tempo em que a máquina permanece parada para troca de ferramenta e ajustagem, além de permitir velocidades e avanços maiores do que as outras ferramentas. É uma ferramenta de alto custo e mais sensível do que as ferramentas de metal duro e cerâmica.

5.6 Cobertura

O CIMM (Centro de Informação Metalmeccânica) diz que para aumentar a vida útil do aço rápido, as ferramentas são às vezes revestidas por uma camada de outro metal. A maioria dos revestimentos geralmente aumenta a dureza e torna a ferramenta mais lisa. O revestimento permite a ponta da ferramenta cortar facilmente o material sem que partes deste fiquem incrustadas (presas) à ferramenta. O revestimento também ajuda a diminuir a temperatura associada ao processo de corte e aumenta a vida da ferramenta.

De forma geral, a utilização de revestimentos confere certas características às ferramentas de corte, como:

- Resistência ao calor e ao desgaste;
- Diminuição do choque térmico no substrato;
- Usinagem com velocidades e avanços mais altos;
- Possibilidade de corte a seco ou com mínima quantidade de fluido de corte;
- Melhor acabamento superficial da peça;
- Redução do atrito;
- Redução e até mesmo ausência da aresta postiça de corte; e

- Redução do desgaste de cratera e de flanco.

Exemplos de coberturas são como seguem:

5.6.1 TiN – Nitreto de titânio

Material cerâmico de cor dourada. Possui excelente resistência à corrosão, baixo coeficiente de atrito, elevadíssima dureza, grande resistência ao desgaste, bom desempenho de corte.

5.6.2 TiCN – Carbonitreto de titânio

Muito utilizado na usinagem de ferro fundido; resistente a oxidação; é mais duro que o TiN; coeficiente de atrito é menor; boa resistência ao desgaste; dureza; tenacidade.

5.6.3 TiAlN – Nitreto de titânio-alumínio

Maior resistência ao desgaste; estabilidade a oxidação; estabilidade química; alta tenacidade. É ideal para uso em altas velocidades de corte e avanço, com melhoria da vida da ferramenta.

5.7 Processos de Retificação

No processo de retificação cilíndrica, um perfil de referência em forma de cremalheira é deslocado tangencialmente, juntamente com a roda dentada. O flanco do dente é envolvido segundo o processo de corte evolvente. O levantamento de aparas requer, para além de um movimento cilíndrico, também movimentos de corte e de avanço.

O processo de retificação cilíndrica com CBN se caracteriza pela rapidez de usinagem da peça devido aos pequenos diâmetros das ferramentas e às elevadas

rotações do fuso. Devido ao longo período de vida útil da ferramenta, este processo é caracterizado pela elevada segurança; tal fator é positivo devido ao baixo número de intervenções no processo, porém a correção fica limitada.

O processo de retificação cilíndrica se caracteriza pela flexibilidade na usinagem da peça. Deve-se atentar aos valores limites da velocidade de corte (63 ou 80 m/s) a fim de evitar danos térmicos na peça. Os caracóis de retificação de corindon são fixados num mandril e têm de ser dressados e equilibrados na máquina retificadora de engrenagens. Através do dressamento na máquina atinge-se uma elevada precisão de rotação da ferramenta, o que permite alcançar um melhor resultado no perfil da peça usinada.

No processo de retificação de perfil, o perfil do rebolo corresponde ao perfil da peça a ser usinada. Contrariamente ao que acontece no processo de retificação cilíndrica, no processo de retificação de perfil a ferramenta está ligada à peça a maquinar. Cada peça a maquinar, em que o ângulo de ataque, o módulo, o coeficiente de correção do dentado ou o número de dentes são diferentes, requer um perfil de rebolo próprio.

A retificação de perfil com CBN alia potência, vida útil, qualidade do perfil, reduzido investimento em ferramentas e obtenção de peças não passíveis de retificação cilíndrica. Porém, este processo demanda um tempo maior de usinagem e em casos de elevadas potências, pode causar queimadura nas peças. A montagem dos rebolos perfilados de CBN se dá em um mandril de retificação.

A retificação de perfil com rebolo dressável de *corindon* permite produzir perfis de alta precisão que podem ser modificados de acordo com a necessidade e possui relativamente baixo custo. Este processo é indicado para a produção de pequenas séries e de protótipos, em que o perfil definitivo ainda não está definido. Com a ajuda de um disco radial diamantado de uso universal e de um *software* de comando adequado na máquina, é possível executar com rapidez todo os tipos de perfis e modificações, tais como correção da cabeça, abaulamento e arredondamento do pé da engrenagem. A montagem dos rebolos perfilados de CBN se dá em um mandril de retificação.

A combinação da retificação cilíndrica e da retificação de perfil evita, em larga medida, as desvantagens específicas de cada processo e combina os seus pontos fortes.

A retificação cilíndrica de múltiplas entradas é extremamente produtiva e pouco suscetível a queimaduras, enquanto que o acabamento por meio de retificação de perfil proporciona a máxima qualidade de engrenagem. Além do mais o caracol de desbaste fica disponível num comprimento maior, sendo que a área de *shifting* disponível quase que duplica no caso de módulos maiores. Isso aumenta também a vida útil e, por conseguinte, a rentabilidade. Em certos tipos de engrenamentos é economicamente mais vantajoso combinar o rebolo perfilado de CBN com um caracol de retificação de *coríndon*. Outra vantagem de combinar os dois processos é que a retificação de perfil final permite atingir elevadíssimas tensões residuais de pressão (até 1100 Mpa) na peça trabalhada. Isso tem repercussões muito positivas na vida útil do componente.

5.8 Novas Tecnologias com Utilização de Novos Compostos

Com relação às novas tecnologias empregadas atualmente no mercado de fabricação de engrenagens, as mesmas encontram-se em posse dos fabricantes, os quais se reservam no direito de exclusividade. Através de pesquisas chega-se à conclusão que a tendência do mercado se baseia em ferramentas que aliem elevada dureza e resistência ao desgaste, parâmetro representado pelo fator velocidade de corte e elevada resistência à tração e à ruptura, parâmetro representado pelo fator avanço axial. (Figura 5.6)

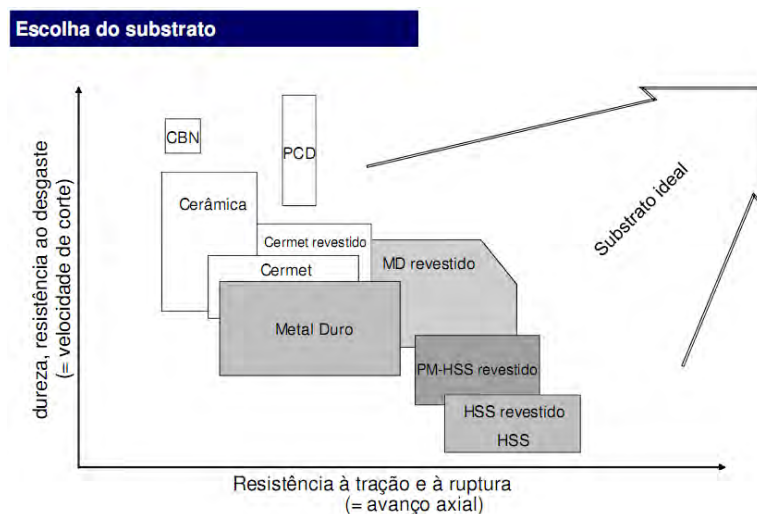


Figura 5.6: Escolha do substrato ideal

6. ESTUDO DE CASO: SIMULAÇÃO DE USINAGEM PARA UMA ENGRENAGEM ESPECÍFICA

Para o estudo de caso, foram analisados os resultados estatísticos do Teste de Capabilidade (*try out*) e relatório de medição de uma máquina retificadora de engrenagens Liebherr – LCS 300, a qual foi instalada no cliente ZF do Brasil. As peças em questão, num lote inicial de peças denominadas “Eixo Principal” foram analisadas.

De acordo com especificações do fabricante os seguintes parâmetros serão avaliados:

- Sobre Esferas, *ffa m links*, *ffa m rechts*, *fHam links*, *fHam rechts*, *ca/ESQUER m links*, *ca/DIREIT m rechts*, *ffb m links*, *ffb m rechts*, *fHbm links*, *fHbm rechts*, *Cbm links*, *Cbm rechts*, *fp max rechts*, *fp max links*, *Fp rechts*, *Fp links*, *Fr*, *fu_l*, *fu_r*.

A capacidade consiste na capacidade de um processo produzir itens conformes, ou seja, de acordo com as especificações do projeto. Essa capacidade depende dessas próprias especificações e da variabilidade do processo, portanto ela não está vinculada apenas à presença ou ausência de causas especiais (uma vez que o processo, mesmo na ausência de causas especiais, já possui uma variabilidade natural), embora seja evidente que desajustes e/ou falta de estabilidade do processo (provocados por causas especiais) reduzem sua capacidade e aumentam o número de itens não conformes produzidos.

Os índices *Cm* e *Cmk* são utilizados para avaliar um equipamento ou máquina nas seguintes condições:

- Antes da compra: Para determinar se o equipamento tem condições de atender ao processo;
- Avaliações periódicas do equipamento;
- Avaliações após grande reforma ou revisão do equipamento.

O índice Cm compara a variabilidade total permitida ao produto (ou tolerância de especificação) com a variação do processo (também chamada de tolerância natural). Assim, para o processo ser considerado capaz, o índice Cm deve ser igual ou maior do que um, o que equivale a dizer que pelo menos 99,73% dos produtos serão conformes, admitindo-se a distribuição normal válida para a variabilidade dos valores individuais e a média do processo centralizada na especificação.

Intrinsecamente, este índice admite que a média da máquina possa ser facilmente ajustada e, portanto, somente a tolerância de engenharia (que é a distância entre o limite superior e o inferior da especificação) é comparada com a dispersão total. Esta é sempre a melhor condição possível para o estudo, daí o porquê do índice ser habitualmente chamado de capacidade potencial.

O índice Cmk é definido como:

$$Cmk = \text{mínimo} \{ Cmi, Cms \}$$

Onde:

Cmi é calculado pela seguinte fórmula:

$$Cmi = \frac{\mu - LIE}{3.\sigma} \quad \text{(Equação 6.1)}$$

Cm é gerado pelo seguinte cálculo:

$$Cms = \frac{LSE - \mu}{3.\sigma} \quad \text{(Equação 6.2)}$$

- LIE - limite inferior de especificação
- LSE - limite superior de especificação
- μ - média do processo

Caso o desvio-padrão do processo seja desconhecido, deverá ser utilizado o desvio-padrão estimado.

Se Cmi for menor que Cms , então Cmk será igual a Cmi . Caso contrário, Cmk será igual à Cms . É recomendado utilizar o índice Cmk nos casos em que existe somente o LIE ou o LSE, ou quando a média do processo não pode ser centralizada na especificação por problema de engenharia ou devido a um elevado custo de alteração

ou ajuste. No índice Cmk , além de avaliar-se a variabilidade total permitida às peças com a tolerância natural de fabricação, verifica-se, também, a posição do processo em relação aos limites (superior e inferior) da especificação. Assim, o valor de Cmk deve ser igual ou superior a um para o processo ser considerado capaz.

Para determinação dos parâmetros Cm e Cmk devem ser analisados somente as variações das máquinas. A máquina deve estar ajustada conforme as suas especificações.

O índice Cm é definido como sendo a razão entre a tolerância de engenharia e a dispersão do processo:

$$Cm = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (\text{Equação 6.3})$$

- σ - desvio-padrão do processo (população)

Caso o desvio-padrão do processo seja desconhecido, deverá ser utilizado o desvio-padrão estimado.

Os dados encontrados no estudo de caso seguem nas Figuras 6.1 e 6.2, destacadas algumas características importantes e o estudo completo segue nos anexos.

6.1 Considerações Finais

Nas análises de características, o processo apresentou desempenho capaz, com somente dois resultados fora da meta especificada (*ca/DIREIT m rechts* e *ca/ESQUER m links*), ilustrados no estudo de capacidade conforme Figuras 6.1 e 6.2, tal parâmetro é designado *tip relief* - recuo de cabeça - do perfil, e é exclusivamente dependente da geometria da ferramenta (do projeto da mesma), o que não pode ser corrigido pela máquina; por tal motivo, não deveria nem ser motivo de avaliação num teste de capacidade, porém o fabricante tem por padrão avaliar tal parâmetro, assim, os recuos de cabeça não reprovaram o estudo.

No índice Cmk , além de se avaliar a variabilidade total permitida às peças com a tolerância natural de fabricação, verificou-se também, a posição do processo em

relação aos limites (superior e inferior) da especificação. Assim, o valor de C_{mk} encontrado foi superior a um, e o processo foi considerado capaz. Analisando o indicador, podemos concluir que a incorporação de índice de capacidade permite atuação preventiva sobre o processo, viabilizando intervenção no processo antes que um desvio na tendência de desempenho do mesmo possa significar impacto real ao cliente.

Sendo assim, em função das análises acima, a máquina encontra-se no padrão adequado para produção e teve seu *try-ou* aprovado, sendo liberada para produção.

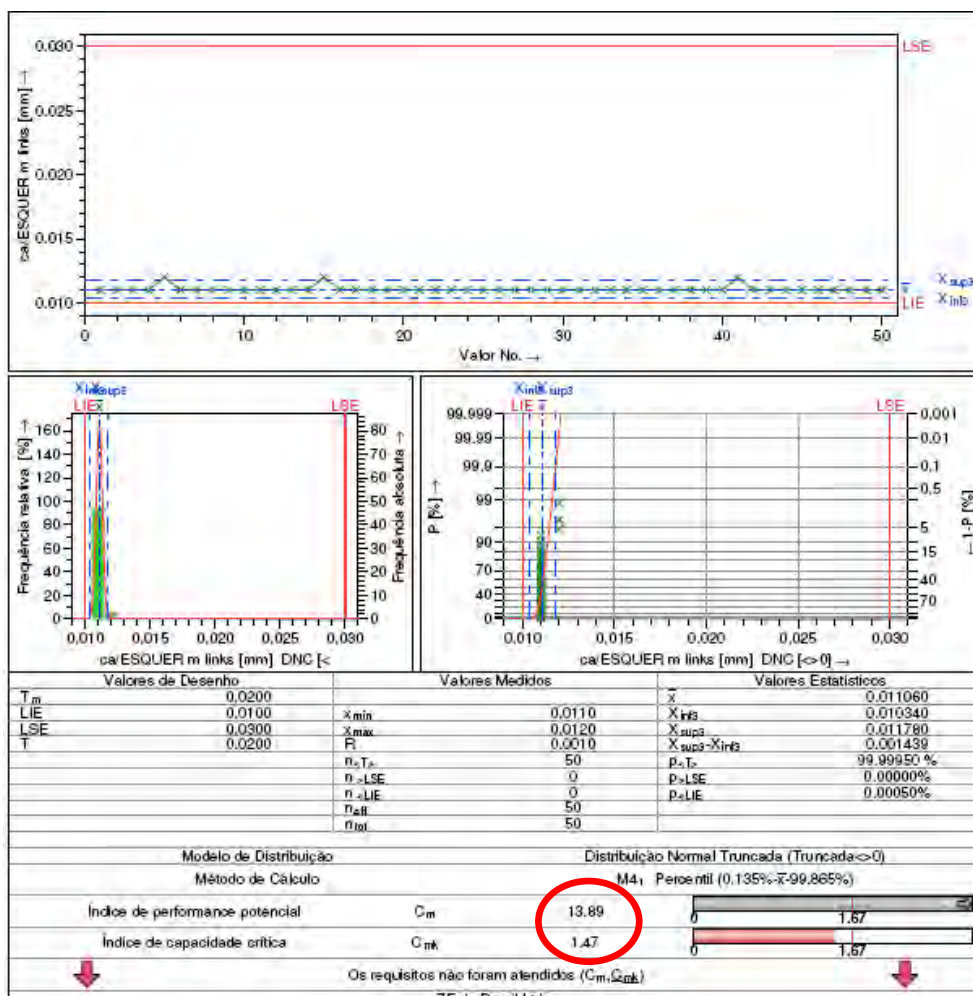


Figura 6.1: Capacidade de Máquina

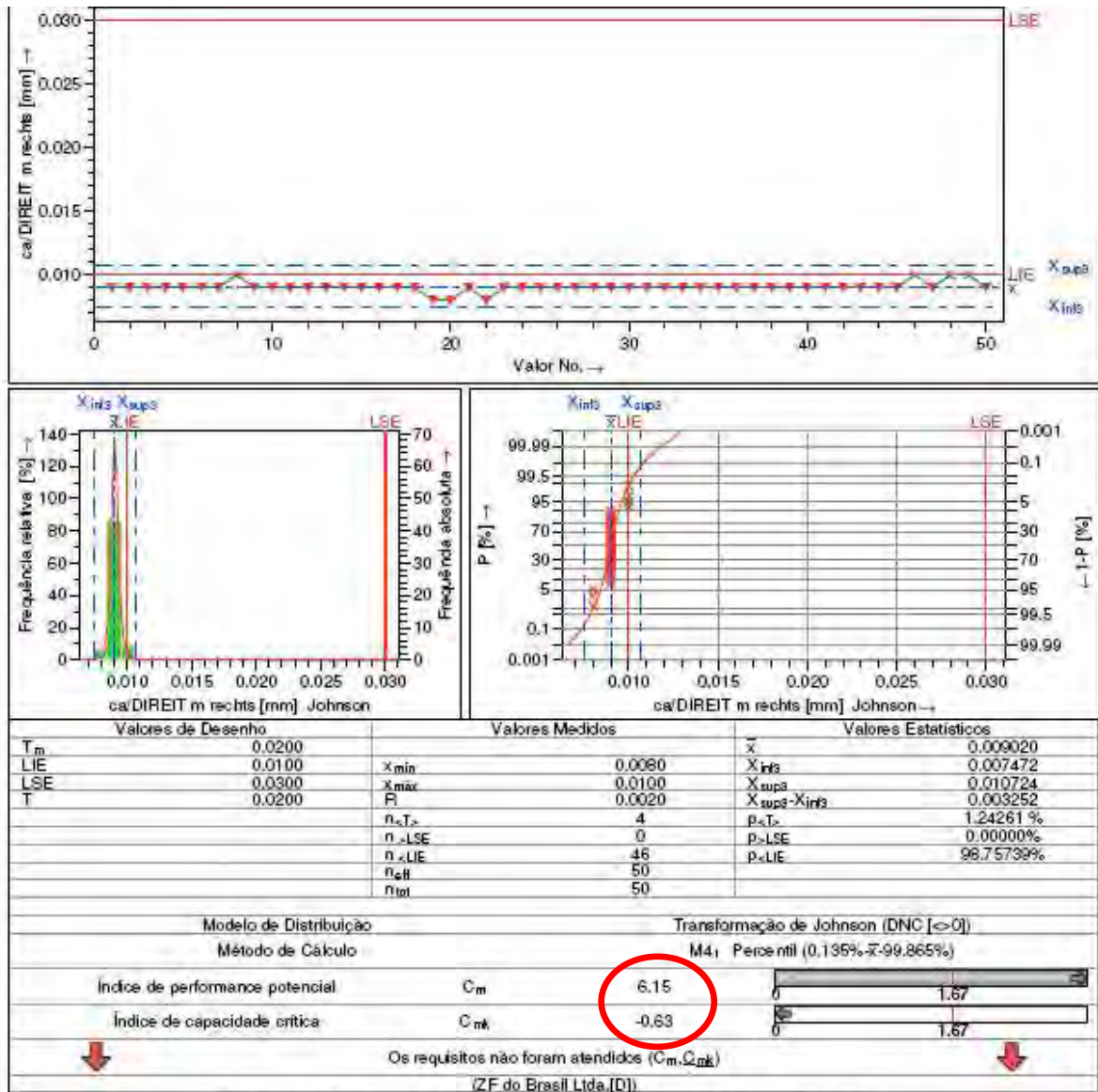


Figura 6.2: Capacidade de Máquina

Na figura 6.3 estão destacados os detalhes mais relevantes da medição. Verifica-se que os resultados estão muito próximos ao Limite Inferior da Especificação nos parâmetros Frequência Relativa e Recuo de Cabeça do Perfil, confirmando os valores dos Índices C_m e C_{mk} .

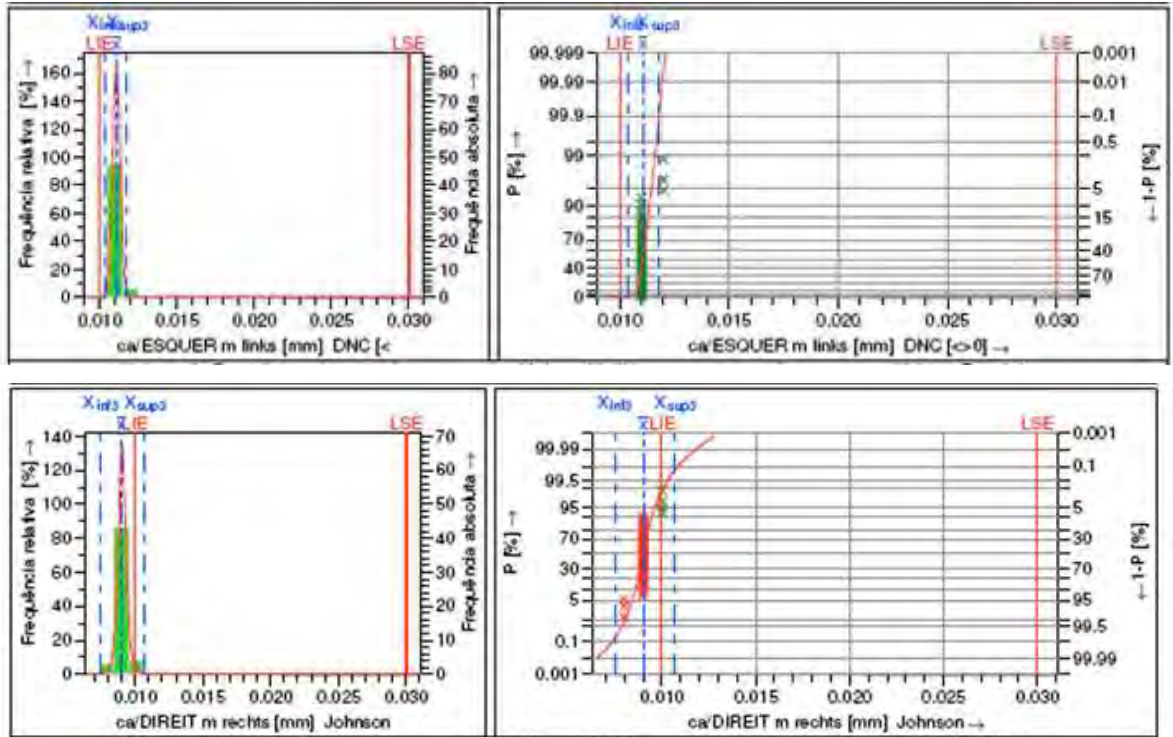


Figura 6.3: Detalhes da Capacidade de Máquina

Os Testes de Capabilidade para os parâmetros aprovados constam nos anexos, para uma análise completa dos dados encontrados no *try out* da máquina.

7. CONCLUSÃO

Tendo em vista o aumento da competitividade, temos que o método efetivo para vencer no mercado é aumentar a eficiência dos processos de manufatura de engrenagens com máquinas mais eficientes, reduzindo assim custos e obtendo um aumento na produtividade. Neste trabalho têm-se como objetivo realizar uma análise do processo de manufatura das engrenagens, analisando todo processo de fabricação baseando-se nas cartas de controle do processo.

Através deste estudo foi possível obter maiores conhecimentos do processo de fabricação de engrenagens e assim observar a importância deste ramo da atividade industrial presente no dia-a-dia das pessoas.

Neste trabalho realizou-se um acompanhamento do *try out* da máquina retificadora de engrenagens e avaliar os parâmetros que influenciam na fabricação da engrenagem.

Através da análise dos resultados obtidos foi possível a liberação da máquina para a produção mesmo tendo resultados insatisfatórios em dois atributos, os quais não tem ligação direta com a máquina em si, mas são parâmetros do projeto da ferramenta de corte.

8. REFERÊNCIAS

WOODBURRY, R. S. **History of the Gear-Cutting Machine: A Historical Study in Geometry and Machines**, Cambridge, Mass., M. L. T. Press 1964

GEAR TECHNOLOGY – Página da Internet- (Set. 2011)
<http://www.geartechnology.com>

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**, São Paulo, 1977

CAPACIDADE DE MÁQUINA, realizado por JÚLIO CÉSAR ROSA, Planta Sorocaba Brasil Ltda

CENTRO DE INFORMAÇÃO METALMECÂNICA – Página na Internet (Set. 2011) http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6398-revestimentos-superficiais-para-aos-ferramenta#.Tq1wMuyJKog

DUDLEY, D. W. **The Evolution of the Gear Art**. Washington, American Gear Manufacturers Association, 1969.

STIPKOVIC FILHO, M. **Engrenagens: Geometria, Dimensionamento, Controle, Geração, Ensaios**. 2ª Ed., Rio de Janeiro, Editora Mcgraw-hill 1983

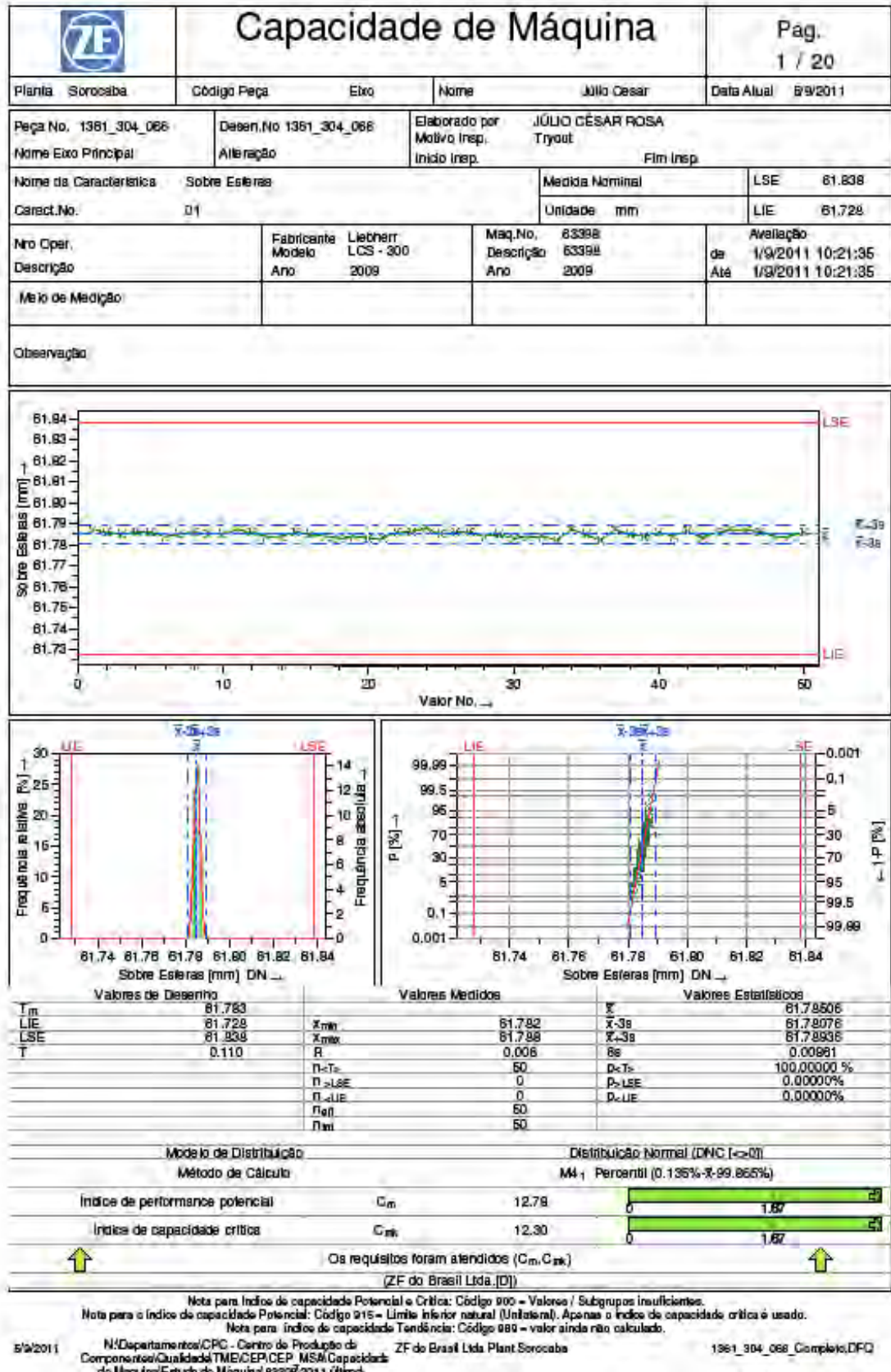
LYNWANDER, P. **Gear drive systems: design and application**. New York, M. Dekker, c1983.


GEAR CUTTING TECHNOLOGY – Practice Handbook – Published by **Liebherr-Verzahntechnik GmbH**, a member of the Liebherr group – 2004

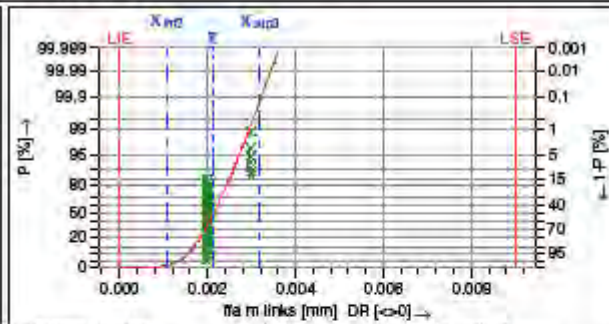
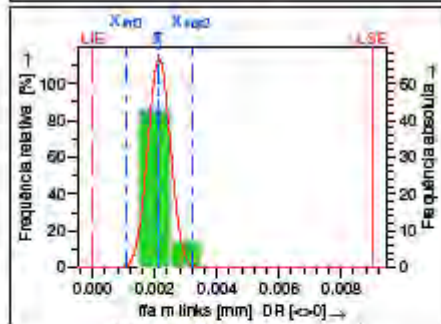
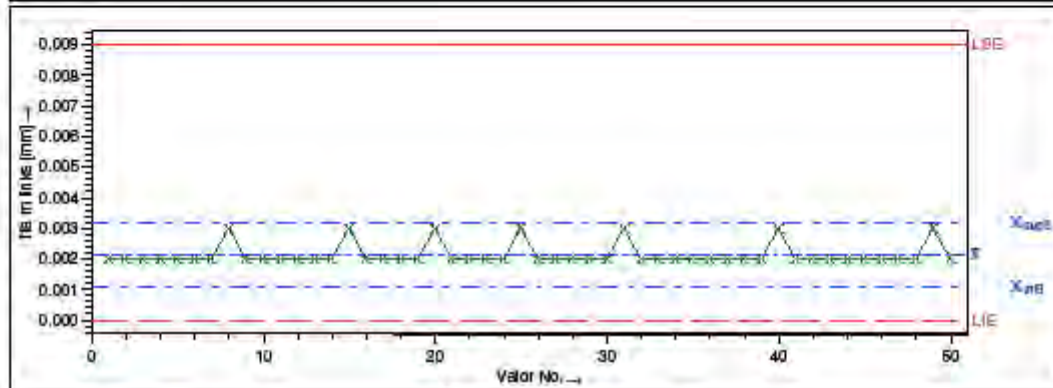
SHIGLEY, J. E. **Elementos de máquinas 2**, Livros Técnicos e científicos, 1981

9. ANEXOS

9.1 Capacidade de Máquina



		<h1>Capacidade de Máquina</h1>		Pag. 2 / 20	
Planta	Sorocaba	Código Peça	Exo	Nome	Júlio Cesar
Peça No.	1361_304_066	Desen.No	1361_304_066	Elaborado por	JÚLIO CÉSAR ROSA
Nome Exo Principal	Alteração	Motivo Insp.		Início Insp.	Tryout
Nome da Característica	Ira m links		Medida Nominal	LSE	0,0080
Caract.No.	02		Unidade	mm	LIE
Nro Oper.		Fabricante	Liebherr	Maq.No.	63398
Descrição		Modelo	LCS - 300	Descrição	63398
		Ano	2009	Ano	2009
Meio de Medição				Avaliação de	31/8/2011 16:56:00
				Até	1/9/2011 01:39:00
Observação					



Valores de Desenho		Valores Medidos		Valores Estatísticos	
T _m	0,0045	X _{min}	0,0020	X̄	0,002140
LIE	0,0000	X _{max}	0,0030	X _{int}	0,001092
LSE	0,0090	R	0,0010	X _{sup}	0,003193
T	0,0090	p<T	50	X _{sup} -X _{int}	0,002102
		p>LSE	0	p<T	99,99981 %
		p<LIE	---	p>LSE	0,00019 %
		p=0	50	p<LIE	---
		p=1	50		


Método de Distribuição		Distribuição de Rayleigh (truncada<=0) (DNC (<=0))	
Método de Cálculo		M4 ₁ Percentil (0.135%-X-99.865%)	
Índice de performance potencial	C _m	---	0
Índice de capacidade crítica	C _{pk}	6,51	1,67

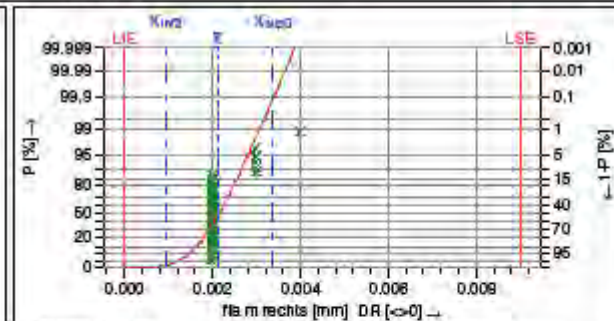
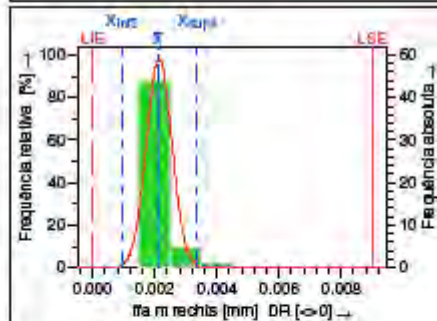
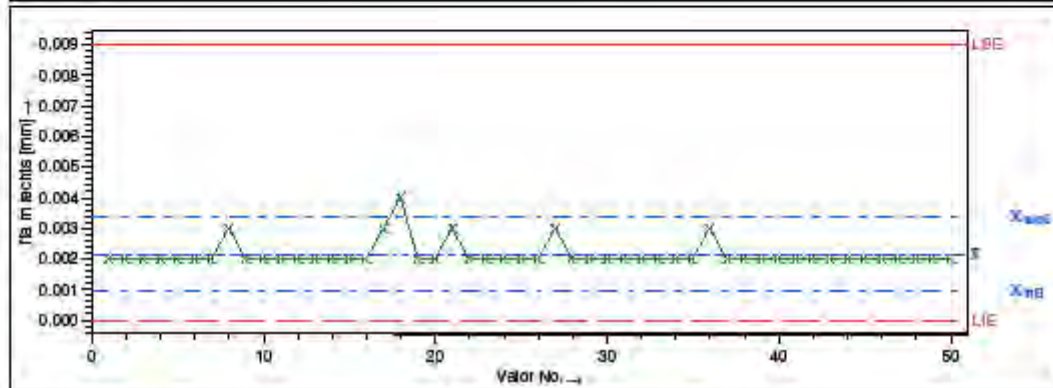
Os requisitos foram atendidos (C_m, C_{pk})

Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 - valor ainda não calculado.

N: Departamento/CPC - Centro de Produção de ZF de Brasil Ltda Plant Sorocaba
 Departamento/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/Capacidade

1361_304_066_Completo.DWG

		<h1>Capacidade de Máquina</h1>		Pag. 3 / 20	
Planta	Sorocaba	Código Peça	Exco	Nome	Júlio Cesar
Peça No.	1361_304_066	Desen.No	1361_304_066	Elaborado por	JÚLIO CÉSAR ROSA
Nome Exco Principal	Alteração	Motivo Insp.	Tryout		
Nome da Característica	f _{ra} m rectis		Medida Nominal	LSE	0,0080
Caract.No.	03	Unidade	mm	LIE	0,0000
Nro Oper.	Fabricante	Liebherr	Maq.No.	63398	
Descrição	Modelo	LCS - 300	Descrição	63398	
	Ano	2009	Ano	2009	
Meio de Medição			Avaliação de	31/8/2011 16:56:00	
			Até	1/9/2011 01:39:00	
Observação					



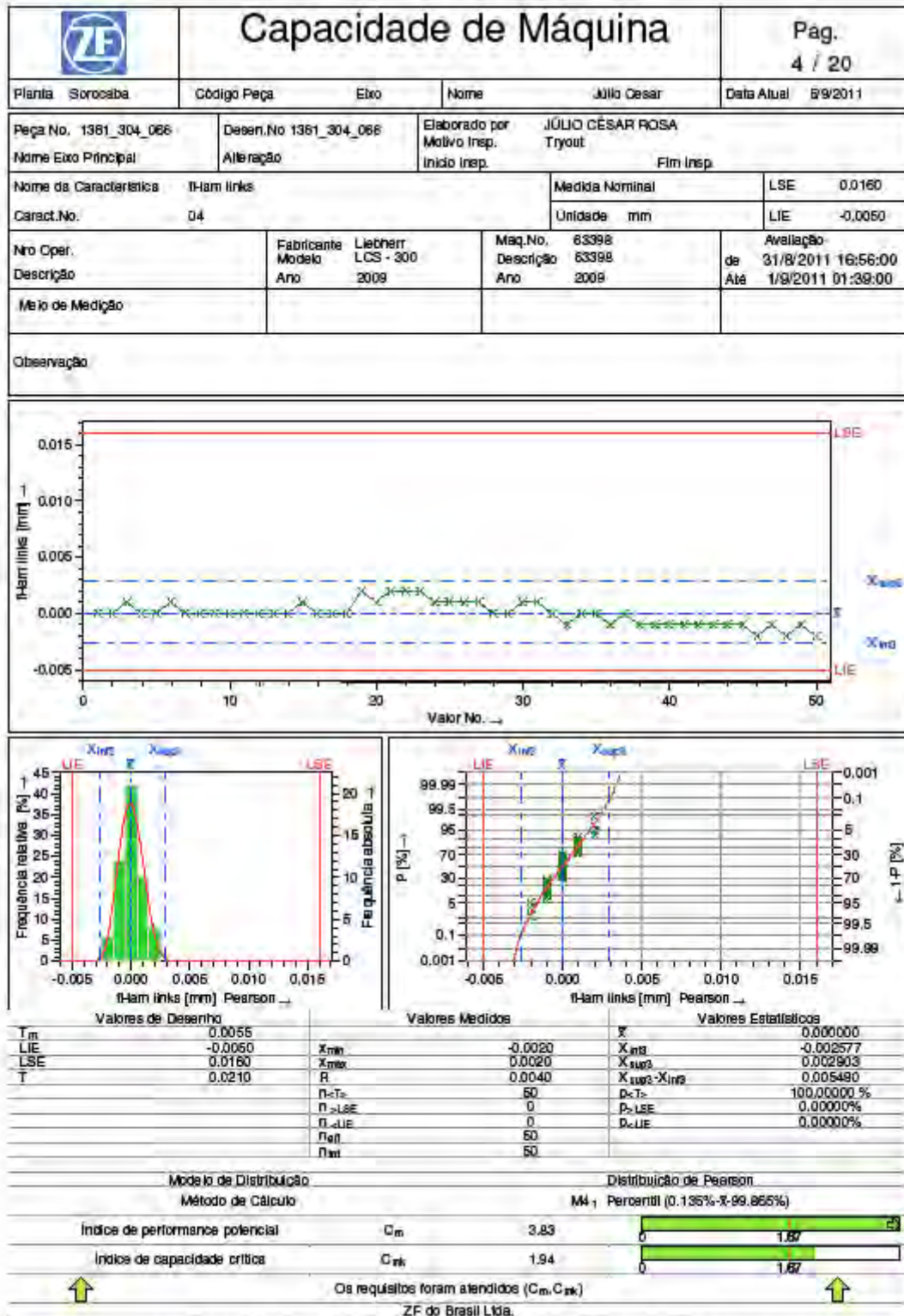
Valores de Desenho		Valores Medidos		Valores Estatísticos	
T _m	0,0045	X _{min}	0,0020	X̄	0,002140
LIE	0,0000	X _{max}	0,0040	X _{inf}	0,000933
LSE	0,0090	R	0,0020	X _{sup}	0,003357
T	0,0090	p<T>	50	X _{sup} -X _{inf}	0,002424
		p>LSE	0	p<T>	100,00000 %
		p<LIE	50	p>LSE	0,00000 %
		p=0	50	p<LIE	---
		p=1	50		

Método de Distribuição		Distribuição de Rayleigh (truncada<=>0) (DNC (<=>0))	
Método de Cálculo		M4 ₁ Percentil (0.135%-X-99.865%)	
Índice de performance potencial	C _m	---	0
Índice de capacidade crítica	C _{pk}	5,64	1,67

Os requisitos foram atendidos (C_m, C_{pk}) (ZF do Brasil Ltda (D))


Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 - valor ainda não calculado.

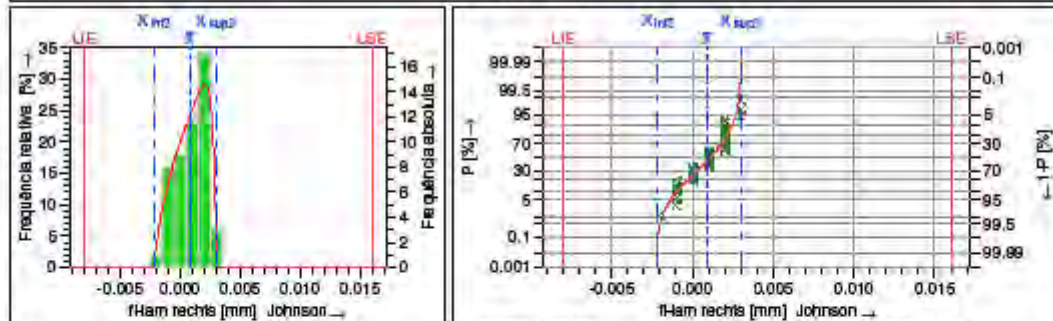
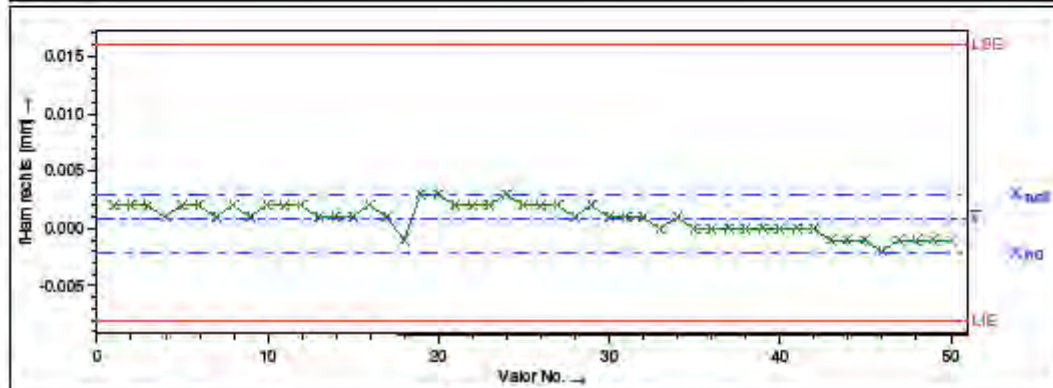
N: Departamento/CPC - Centro de Produção de ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba
 Departamento/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/Capacidade
 1361_304_066_Completo.DFG



Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 = Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 = Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 = valor ainda não calculado.

9/9/2011 N:/Departamento/CPC - Centro de Produção de Componentes/Qualidade/TME/CEP/MSA/ Capacidade ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DWG

		<h1>Capacidade de Máquina</h1>		Pag. 5 / 20	
Planta	Sorocaba	Código Peça	Etro	Nome	Júlio Cesar
Peça No.	1361_304_066	Desen.No	1361_304_066	Elaborado por	JÚLIO CÉSAR ROSA
Nome Etro Principal	Alteração	Motivo Insp.		Início Insp.	Tryout
Nome da Característica	t-Ham rechts		Medida Nominal	LSE	0,0160
Caract.No.	05		Unidade	mm	LIE -0,0080
Nro Oper.	Fabricante	Liebherr	Maq.No.	63398	Avaliação
Descrição	Modelo	LCS - 300	Descrição	63398	de 31/8/2011 16:56:00
	Ano	2009	Ano	2009	Até 1/9/2011 01:39:00
Meio de Medição					
Observação					



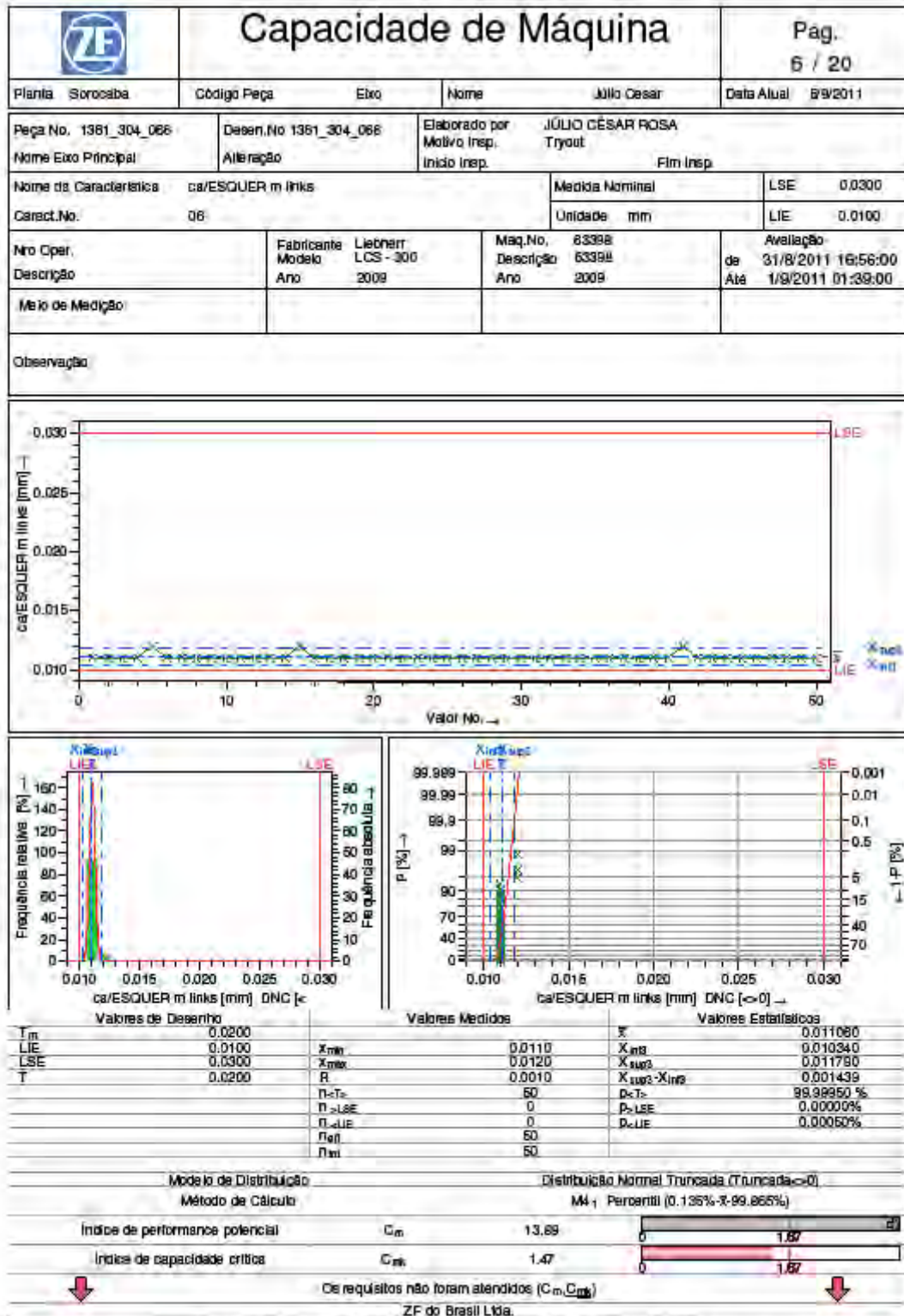
Valores de Desenho		Valores Medidos		Valores Estatísticos	
T _m	0,0040	X _{min}	-0,0020	X̄	0,000900
LIE	-0,0080	X _{max}	0,0030	X _{inf}	-0,002111
LSE	0,0160	R	0,0050	X _{sup}	0,002997
T	0,0240			X _{sup} -X _{inf}	0,005109
		p<T _m	50	p<T _m	100,00000 %
		p>LSE	0	p>LSE	0,00000 %
		p<LIE	0	p<LIE	0,00000 %
		p=0	50		
		p=1	50		

Método de Distribuição		Transformação de Johnson	
Método de Cálculo		M4 ₁ Percentil (0.135%-X-99.865%)	
Índice de performance potencial	C _m	4,70	1,67
Índice de capacidade crítica	C _{pk}	2,98	1,67
Os requisitos foram atendidos (C _m ,C _{pk})			

ZF do Brasil Ltda.

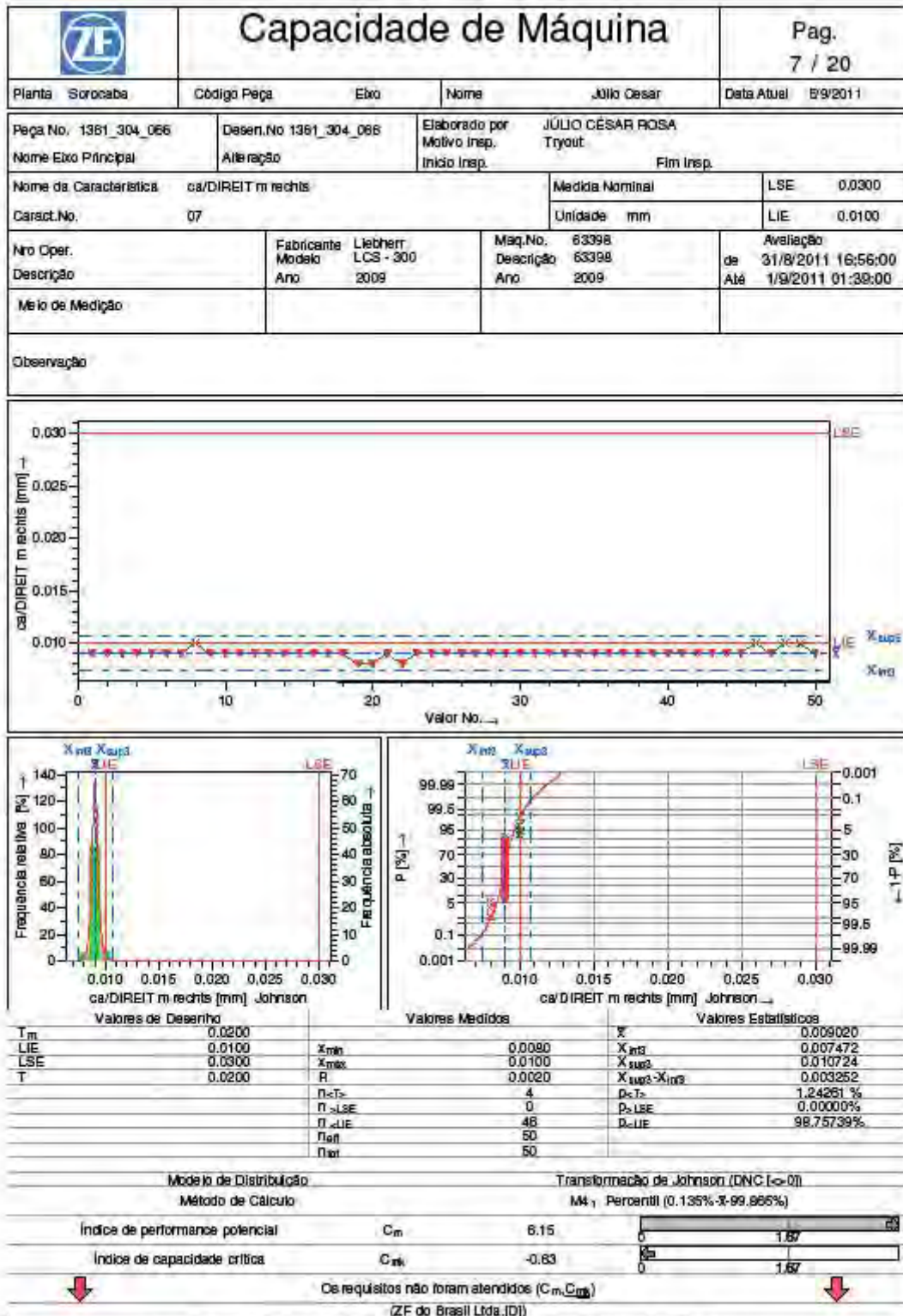
Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 = Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 = Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 = valor ainda não calculado.

5/9/2011 N:\Departamento\CPC - Centro de Produção de Componentes\Qualidade\TME\CEP\CEP_MSA\Capacidade_ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DWG 1361_304_066_Completo.DWG

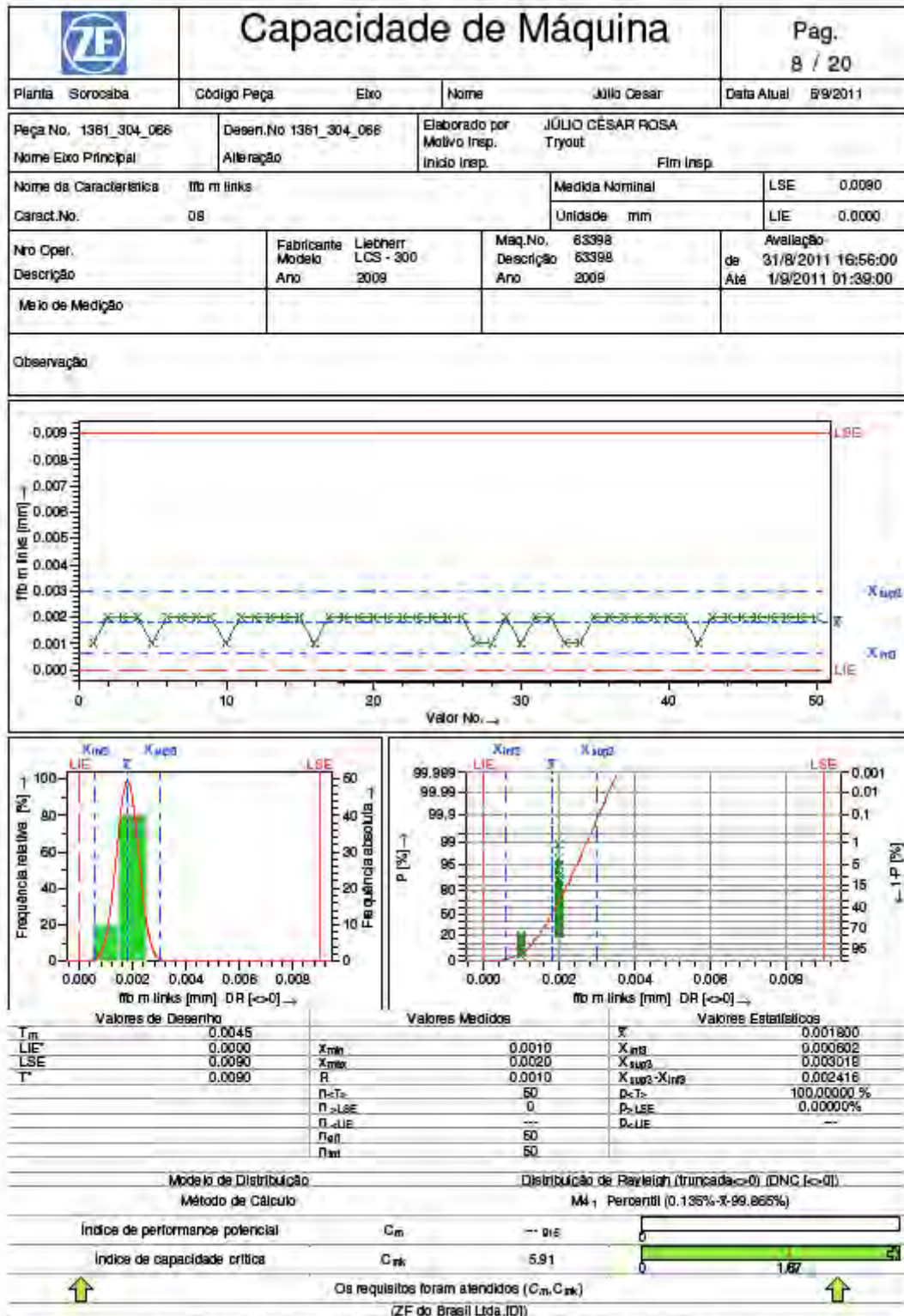


Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos Insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 - Valor ainda não calculado.

5/9/2011 N:/Departamento/CPC - Centro de Produção de Componentes/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/ Capacidade ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1381_304_066_Completo.DWG

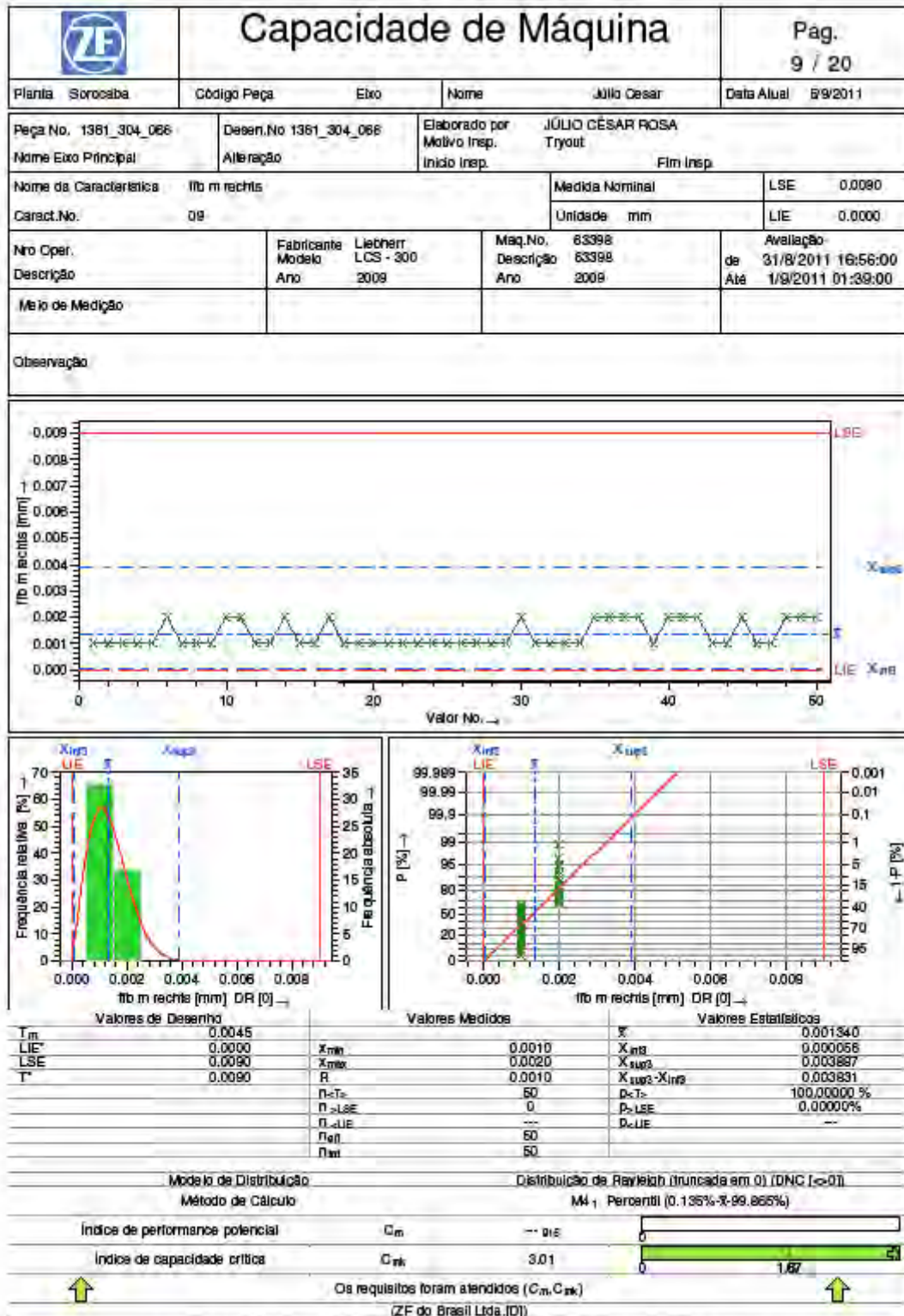


Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos Insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unidade). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 - valor ainda não calculado.



Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 = Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 = Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 = valor ainda não calculado.

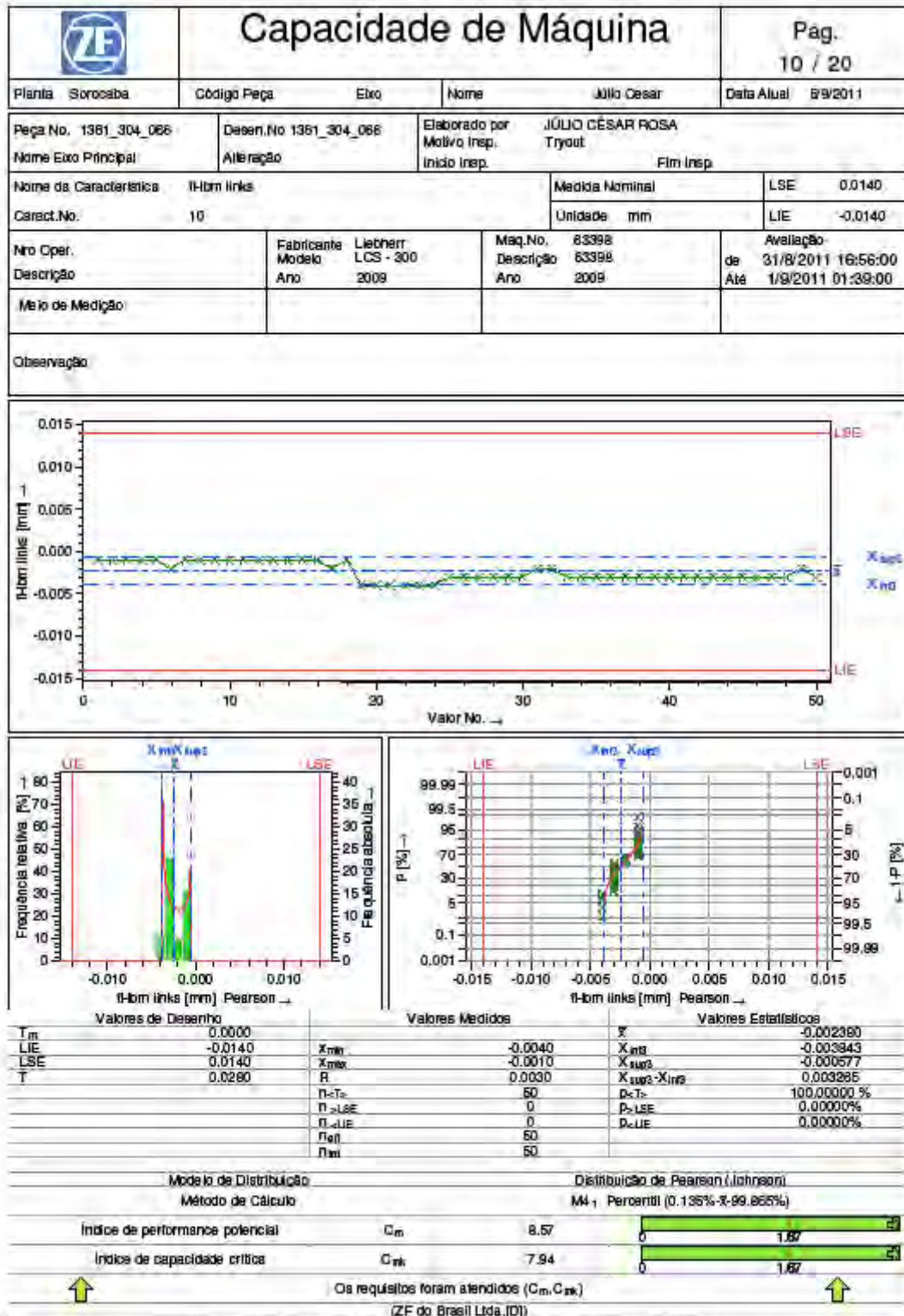
9/9/2011 N:/Departamento/CPC - Centro de Produção de Componentes/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/ Capacidade ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DWG



Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 - valor ainda não calculado.

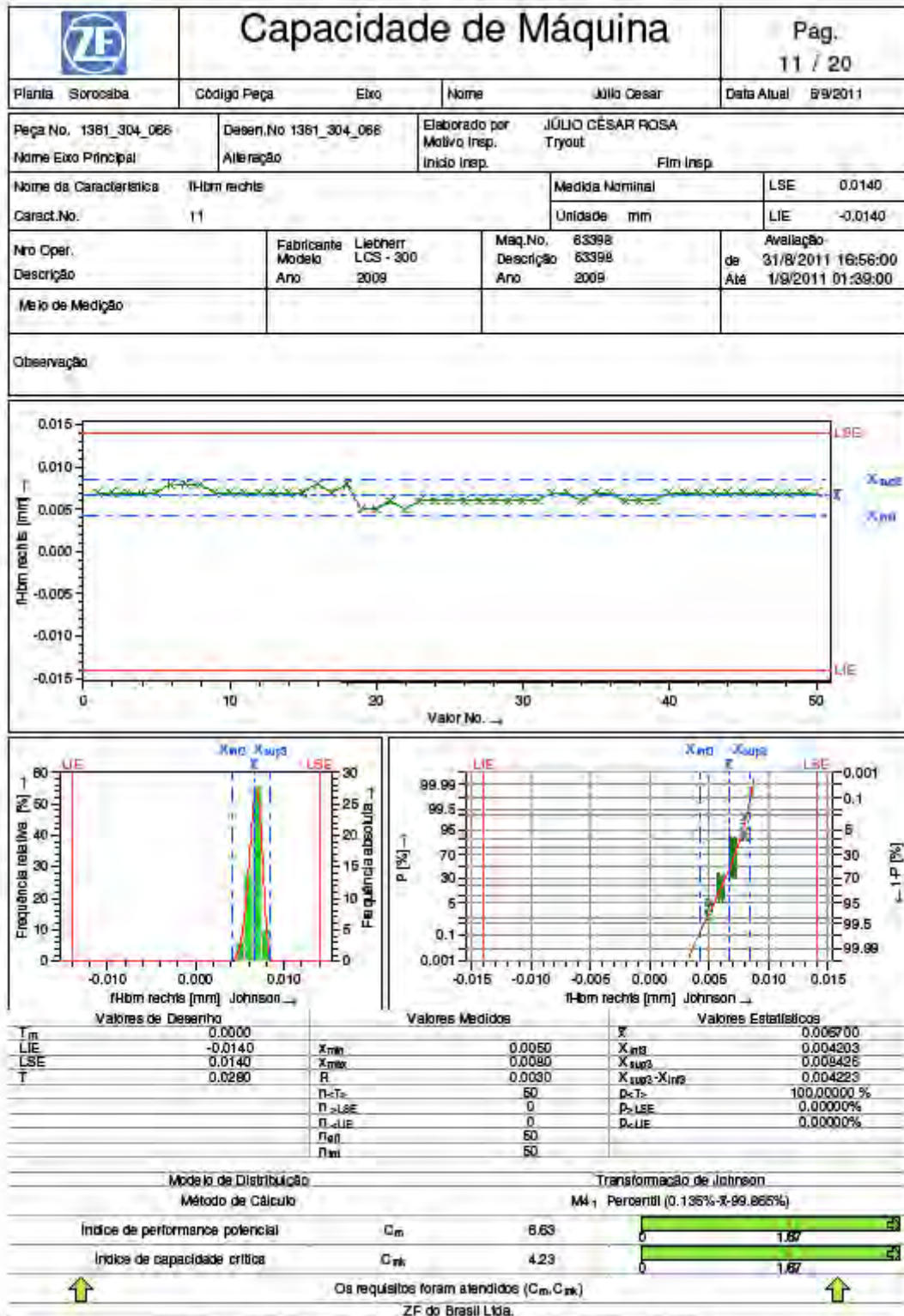
9/9/2011 N:/Departamento/CPC - Centro de Produção de Componentes/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/ Capacidade de Máquina/Estado de Máquina/00020901_010000

ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DWG




Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 - valor ainda não calculado.

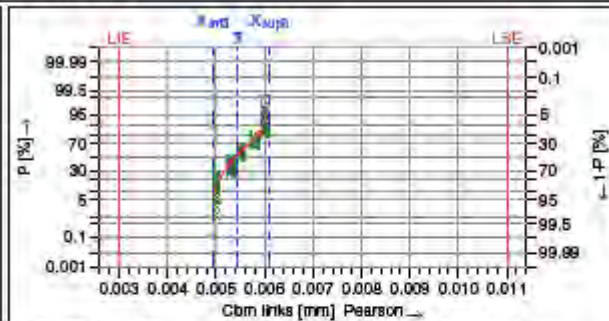
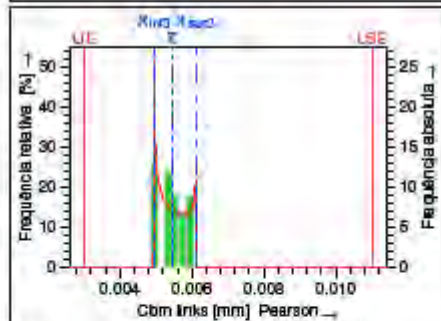
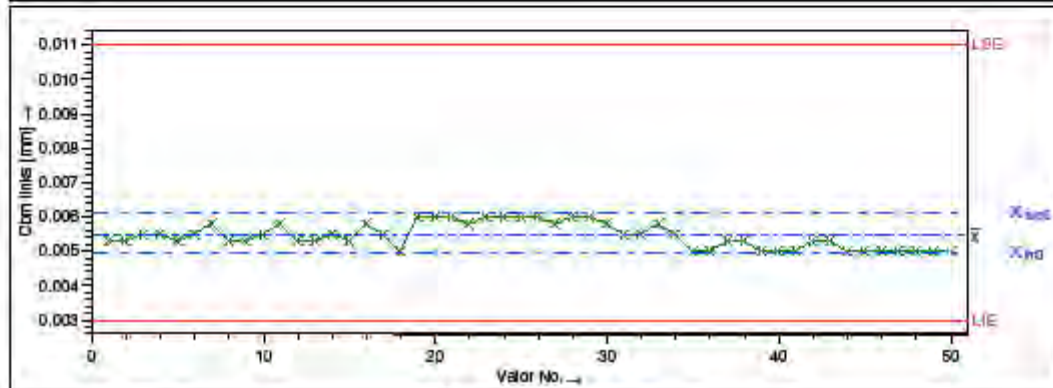
9/9/2011 N:/Departamento/CPC - Centro de Produção de Componentes/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/ Capacidade ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DWG



Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 - valor ainda não calculado.

5/9/2011 N:/Departamento/CPC - Centro de Produção de Componentes/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/ Capacidade ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DWG

		<h1>Capacidade de Máquina</h1>		Pag. 12 / 20		
Planta	Sorocaba	Código Peça	Exo	Nome	Júlio Cesar	
Peça No.	1361_304_066	Desen.No	1361_304_066	Elaborado por	JÚLIO CÉSAR ROSA	
Nome Exo Principal	Alteração	Motivo Insp.	Tryout	Início Insp.		
Nome da Característica	Cbm links		Medida Nominal	LSE	0,0110	
Caract.No.	12		Unidade	mm	LIE	0,0030
Nro Oper.	Fabricante	Liebherr	Maq.No.	63398	Avaliação	
Descrição	Modelo	LCS - 300	Descrição	63398	de	31/8/2011 16:56:00
	Ano	2009	Ano	2009	Até	1/9/2011 01:39:00
Meio de Medição						
Observação						



Valores de Desenho		Valores Medidos		Valores Estatísticos	
T _m	0,0070	X _{min}	0,0050	X̄	0,005454
LIE	0,0030	X _{max}	0,0060	X _{inf}	0,004939
LSE	0,0110	R	0,0010	X _{sup}	0,006103
T	0,0080			X _{sup} -X _{inf}	0,001164
		P<T _m	50	P<T _m	100,00000 %
		P<LSE	0	P<LSE	0,00000 %
		P<LIE	0	P<LIE	0,00000 %
		P=0	50	P<LIE	0,00000 %
		P=0	50		

Método de Distribuição		Distribuição de Pearson	
Método de Cálculo		M4 ₁ Percentil (0.135%-X-99.865%)	
Índice de performance potencial	C _m	6,87	1,67
Índice de capacidade crítica	C _{pk}	4,77	1,67

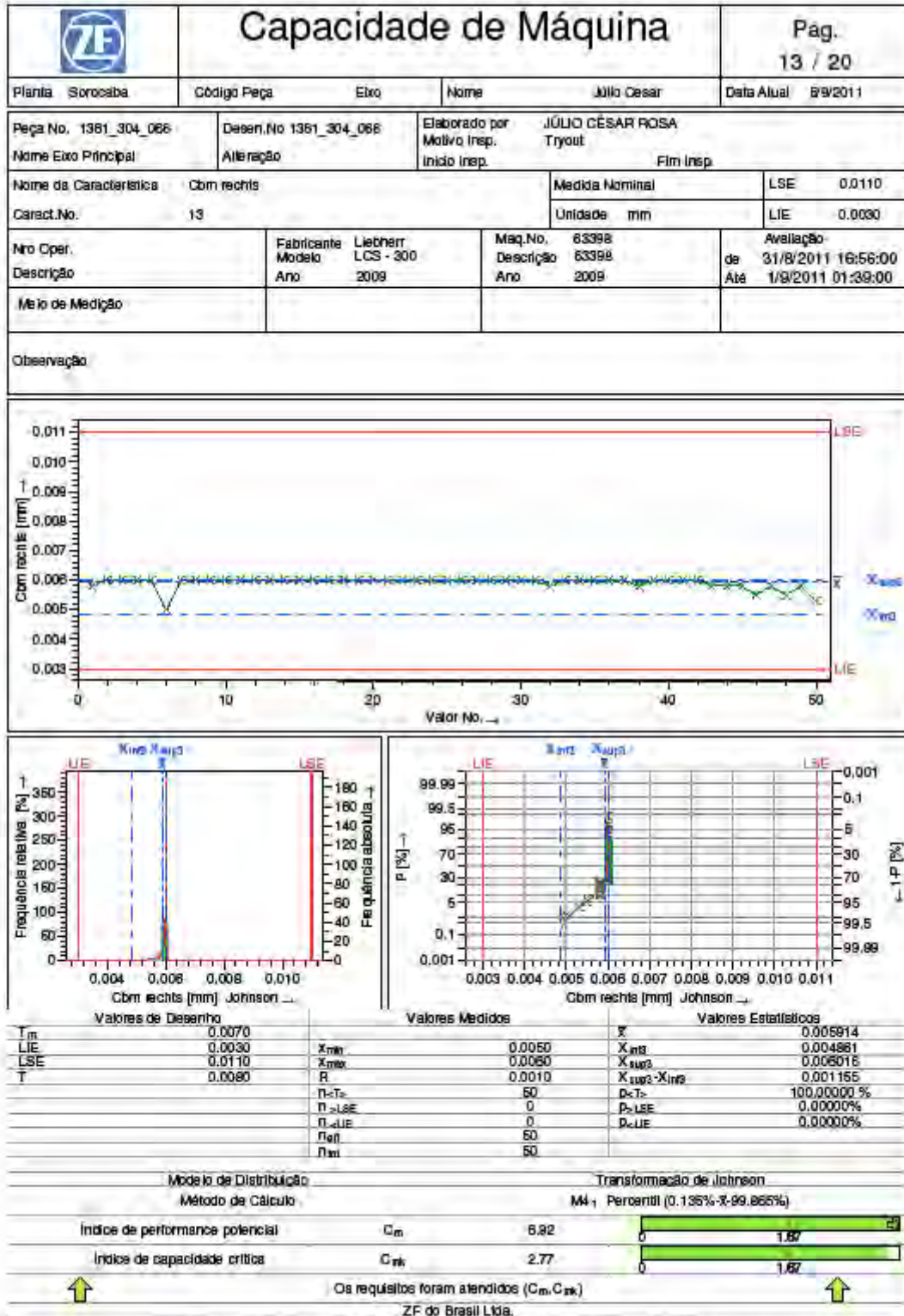
Os requisitos foram atendidos (C_m, C_{pk})

ZF do Brasil Ltda.

Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para índice de capacidade Tendência: Código 989 - valor ainda não calculado.

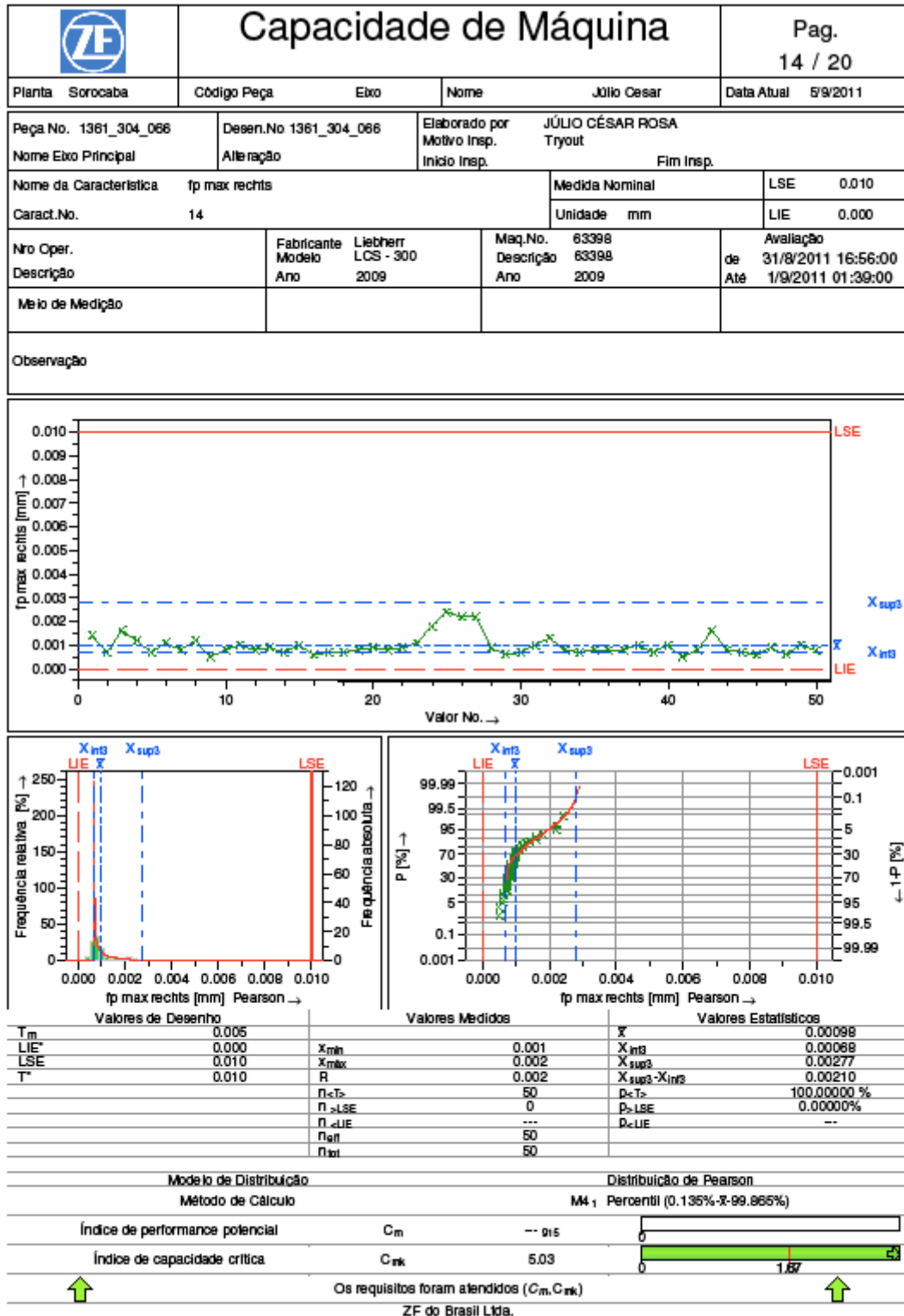
N:Departamento/CPC - Centro de Produção de ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba
 Departamento/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/Capacidade

1361_304_066_Completo.DWG




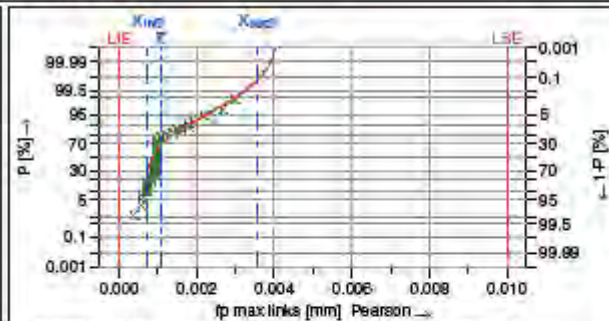
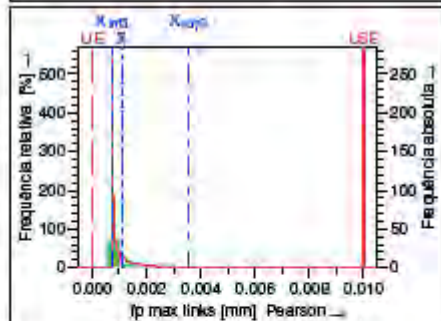
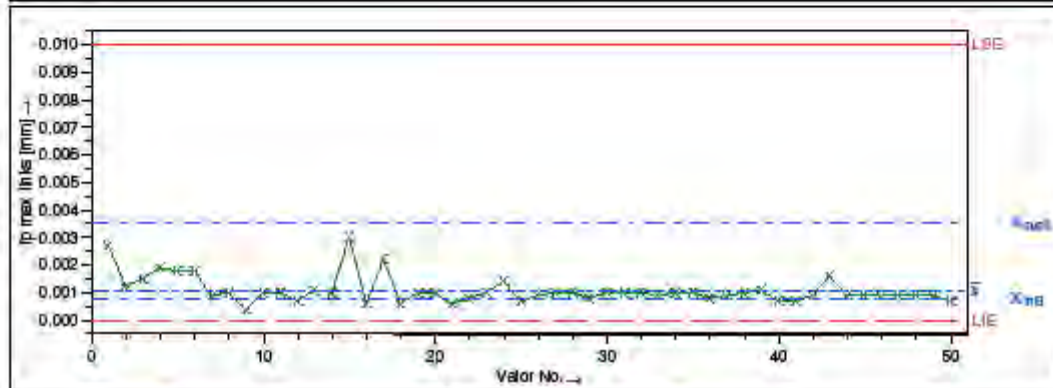
Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 - valor ainda não calculado.

9/9/2011 N:/Departamento/CPC - Centro de Produção de Componentes/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/ Capacidade ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DWG



Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 = Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o índice de capacidade Potencial: Código 915 = Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para índice de capacidade Tendência: Código 989 = valor ainda não calculado.

		<h1>Capacidade de Máquina</h1>		Pag. 15 / 20	
Planta	Sorocaba	Código Peça	Exo	Nome	Júlio Cesar
Peça No.	1361_304_066	Desen.No	1361_304_066	Elaborado por	JÚLIO CÉSAR ROSA
Nome Exo Principal	Alteração	Motivo Insp.	Tryout	Início Insp.	
Nome da Característica	fp max links	Medida Nominal		LSE	0,0100
Caract.No.	15	Unidade	mm	LIE	0,0000
Nro Oper.		Fabricante	Liebherr	Maq.No.	63398
Descrição		Modelo	LCS - 300	Descrição	63398
		Ano	2009	Ano	2009
Meio de Medição				Avaliação de	31/8/2011 16:56:00
				Até	1/9/2011 01:39:00
Observação					



Valores de Desenho		Valores Medidos		Valores Estatísticos	
T _m	0,0050	X _{min}	0,0004	X̄	0,001086
LIE	0,0000	X _{max}	0,0030	X _{int}	0,000744
LSE	0,0100	R	0,0028	X _{sup}	0,003553
T	0,0100	σ	0,0008	X _{sup} -X _{int}	0,002809
		P<T _m	50	P<T _m	100,00000 %
		P>LSE	0	P>LSE	0,000000 %
		P<LIE	50	P<LIE	---
		P=0	50	P<LIE	---
		P=1	50		

Método de Distribuição		Distribuição de Pearson	
Método de Cálculo		M4 ₁ Percentil (0.135%-99.865%)	
Índice de performance potencial	C _m	→ 0,5	0
Índice de capacidade crítica	C _{pk}	3,61	0 → 1,67 → 2,1

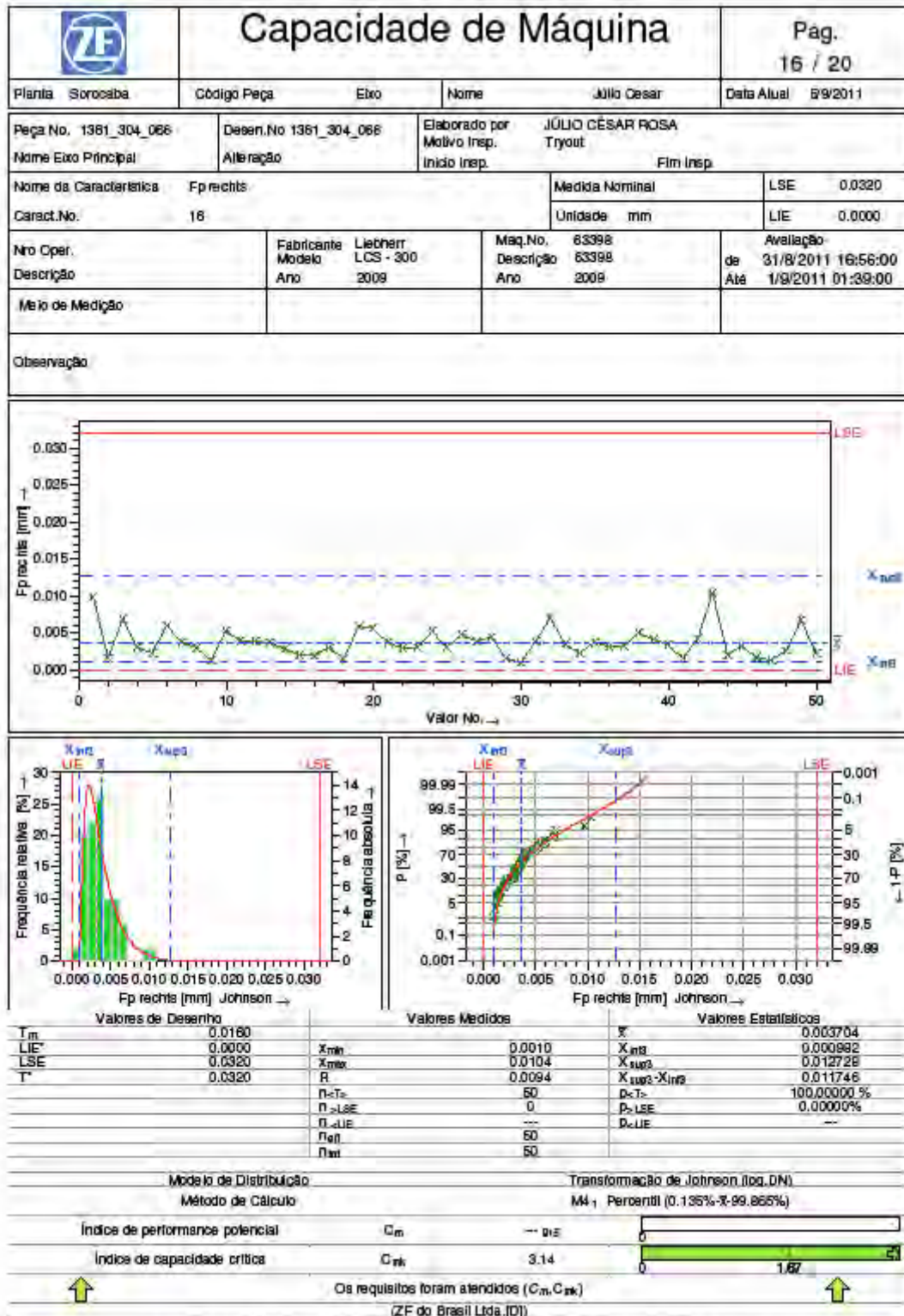
Os requisitos foram atendidos (C_m, C_{pk})

ZF do Brasil Ltda.

Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 - Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o índice de capacidade Potencial: Código 915 - Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para índice de capacidade Tendência: Código 989 - valor ainda não calculado.

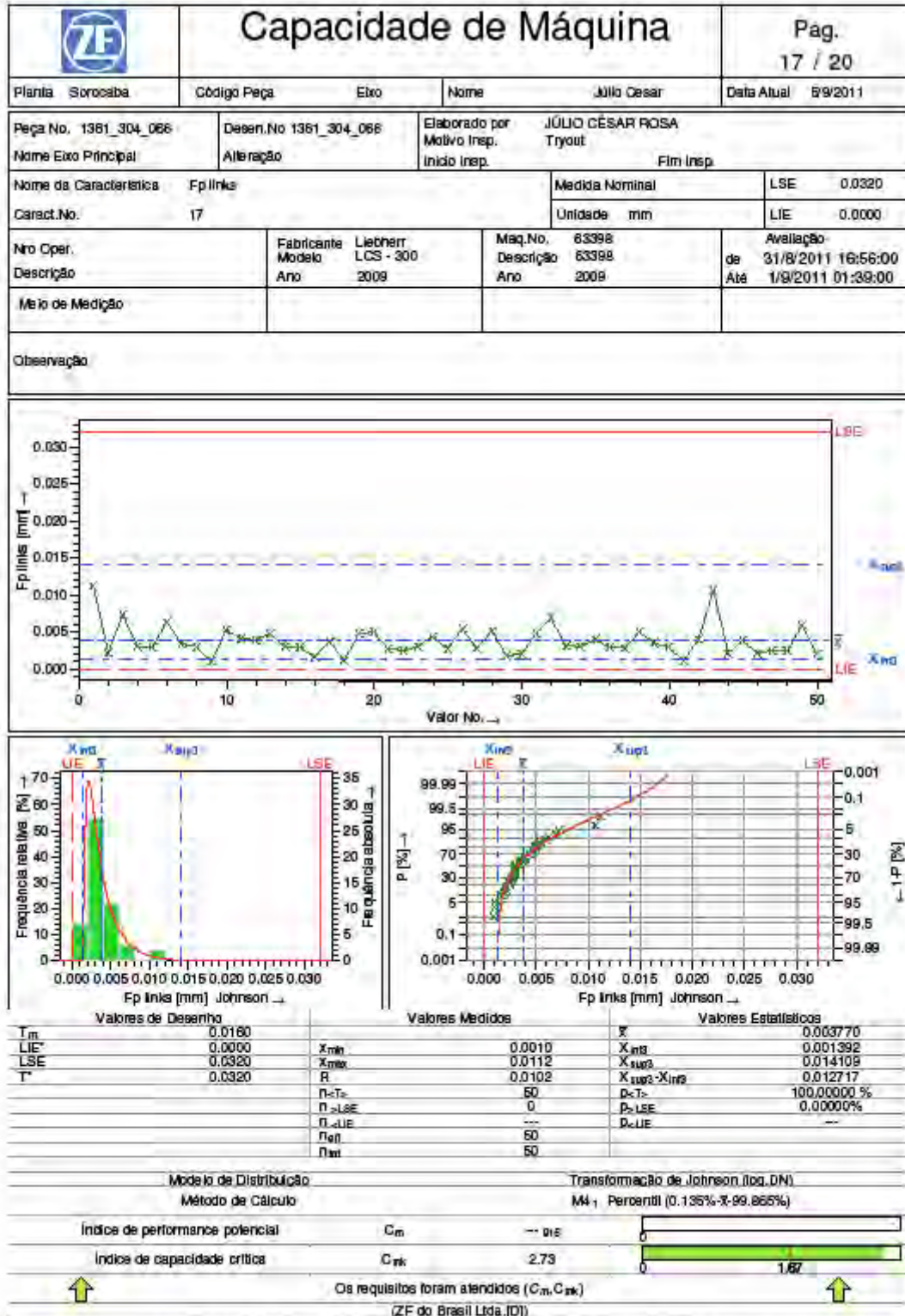
N:Departamento/CPC - Centro de Produção de ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba

1361_304_066_Completo.DWG




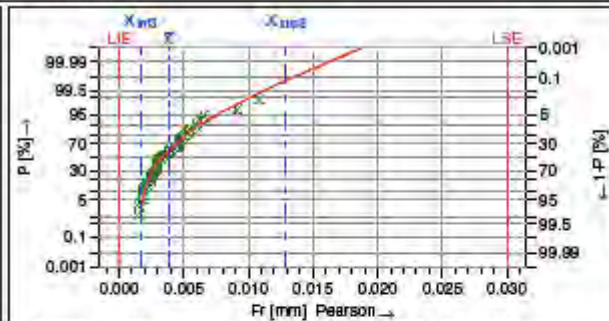
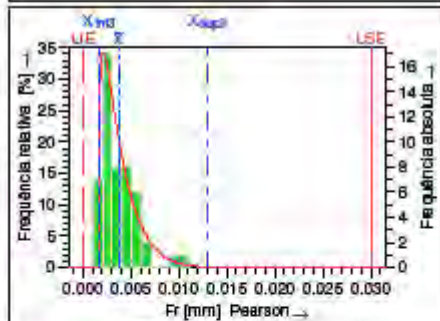
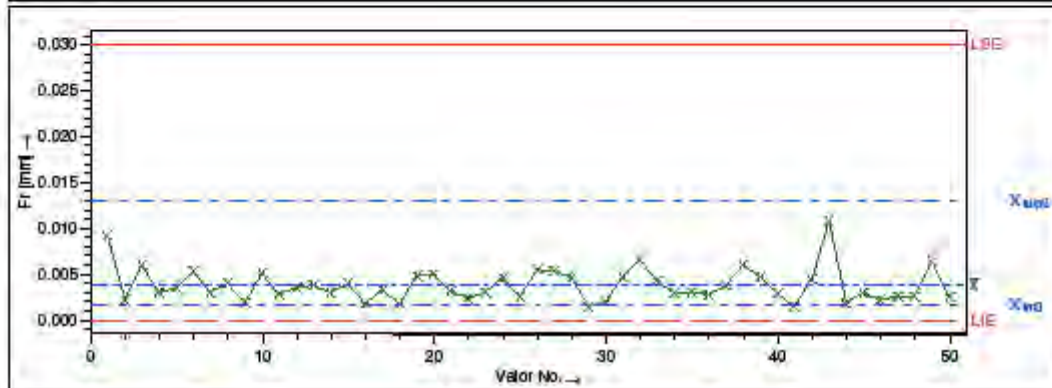
Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 = Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 = Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 989 = valor ainda não calculado.

9/9/2011 N:/Departamento/CPC - Centro de Produção de Componentes/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/ Capacidade ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DWG



Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 000 = Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o Índice de capacidade Potencial: Código 915 = Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o Índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para Índice de capacidade Tendência: Código 089 = valor ainda não calculado.

		<h1>Capacidade de Máquina</h1>		Pag. 18 / 20	
Planta	Sorocaba	Código Peça	Exco	Nome	Júlio Cesar
Peça No.	1361_304_066	Desen.No	1361_304_066	Elaborado por	JÚLIO CÉSAR ROSA
Nome Exco Principal	Alteração	Motivo Insp.		Início Insp.	Tryout
Nome da Característica	Fr			Fim Insp.	
Caract.No.	18	Medida Nominal		LSE	0.0300
		Unidade	mm	LIE	0.0000
Nro Oper.		Fabricante	Liebherr	Maq.No.	63398
Descrição		Modelo	LCS - 300	Descrição	63398
		Ano	2009	Ano	2009
Meio de Medição				Avaliação de	31/8/2011 16:56:00
				Até	1/9/2011 01:39:00
Observação					



Valores de Desenho		Valores Medidos		Valores Estatísticos	
T _m	0.0150	X _{min}	0.0015	X̄	0.003828
LIE	0.0000	X _{max}	0.0108	X _{usd}	0.001894
LSE	0.0300	R	0.0093	X _{usd} -X _{lsd}	0.011281
T	0.0300	σ<T>	50	σ<T>	100.00000 %
		σ<LSE	0	σ<LSE	0.00000 %
		σ<LIE	50	σ<LIE	---
		σ _{rel}	50		
		σ _{int}	50		

Método de Distribuição		Distribuição de Pearson	
Método de Cálculo		M4 ₁ Percentil (0.135%-X-99.865%)	
Índice de performance potencial	C _m	-- 0.15	0
Índice de capacidade crítica	C _{pk}	2.87	1.67


Os requisitos foram atendidos (C_m,C_{pk})

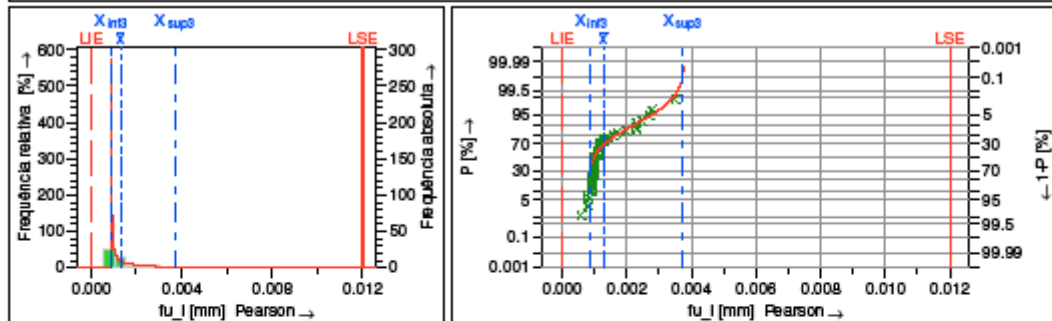
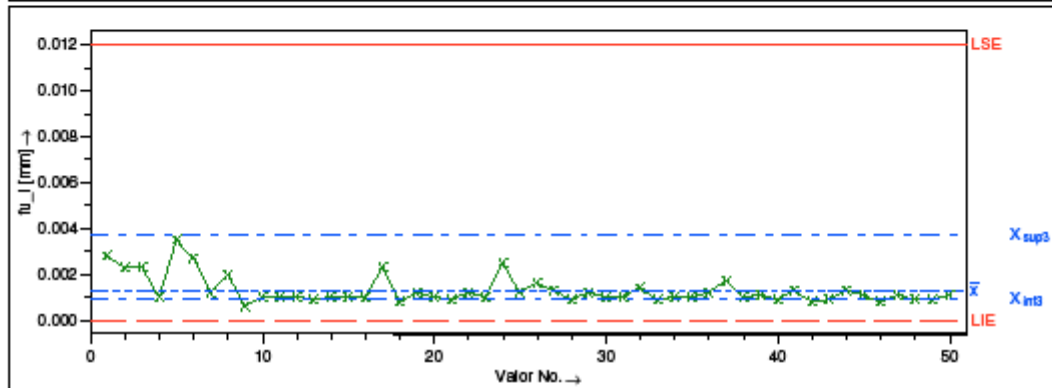
ZF do Brasil Ltda.

Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 = Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o índice de capacidade Potencial: Código 915 = Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para índice de capacidade Tendência: Código 989 = valor ainda não calculado.

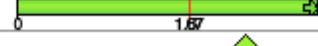
N:Departamento/CPC - Centro de Produção de ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba
 Departamento/Qualidade/TME/CEP/CEP_MSA/Capacidade

1361_304_066_Completo.DFG

		<h1>Capacidade de Máquina</h1>		Pag. 19 / 20	
Planta Sorocaba	Código Peça	Exco	Nome	Júlio Cesar	Data Atual 5/9/2011
Peça No. 1361_304_066	Desen.No 1361_304_066	Elaborado por JÚLIO CÉSAR ROSA		Tryout	
Nome Exco Principal	Alteração	Início Insp.	Fim Insp.		
Nome da Característica tu_l	Medida Nominal		LSE 0.0120		
Caract.No. 19	Unidade mm		LIE 0.0000		
Nro Oper.	Fabricante Liebherr	Maq.No. 63398	Avaliação		
Descrição	Modelo LCS - 300	Descrição 63398	de 31/8/2011 16:56:00		
	Ano 2009	Ano 2009	Até 1/9/2011 01:39:00		
Meio de Medição					
Observação					



Valores de Desenho		Valores Medidos		Valores Estatísticos	
T _m	0.0060	x _{min}	0.0006	\bar{x}	0.001296
LIE	0.0000	x _{max}	0.0035	X _{inf2}	0.000893
LSE	0.0120	R	0.0029	X _{sup3}	0.003706
T [*]	0.0120	$\sigma_{<T>}$	50	X _{sup3} -X _{inf2}	0.002812
		$\sigma_{>LSE}$	0	$\rho_{<T>}$	100.00000 %
		$\sigma_{<LIE}$	---	$\rho_{>LSE}$	0.00000 %
		σ_{eff}	50	$\rho_{<LIE}$	---
		σ_{tot}	50		

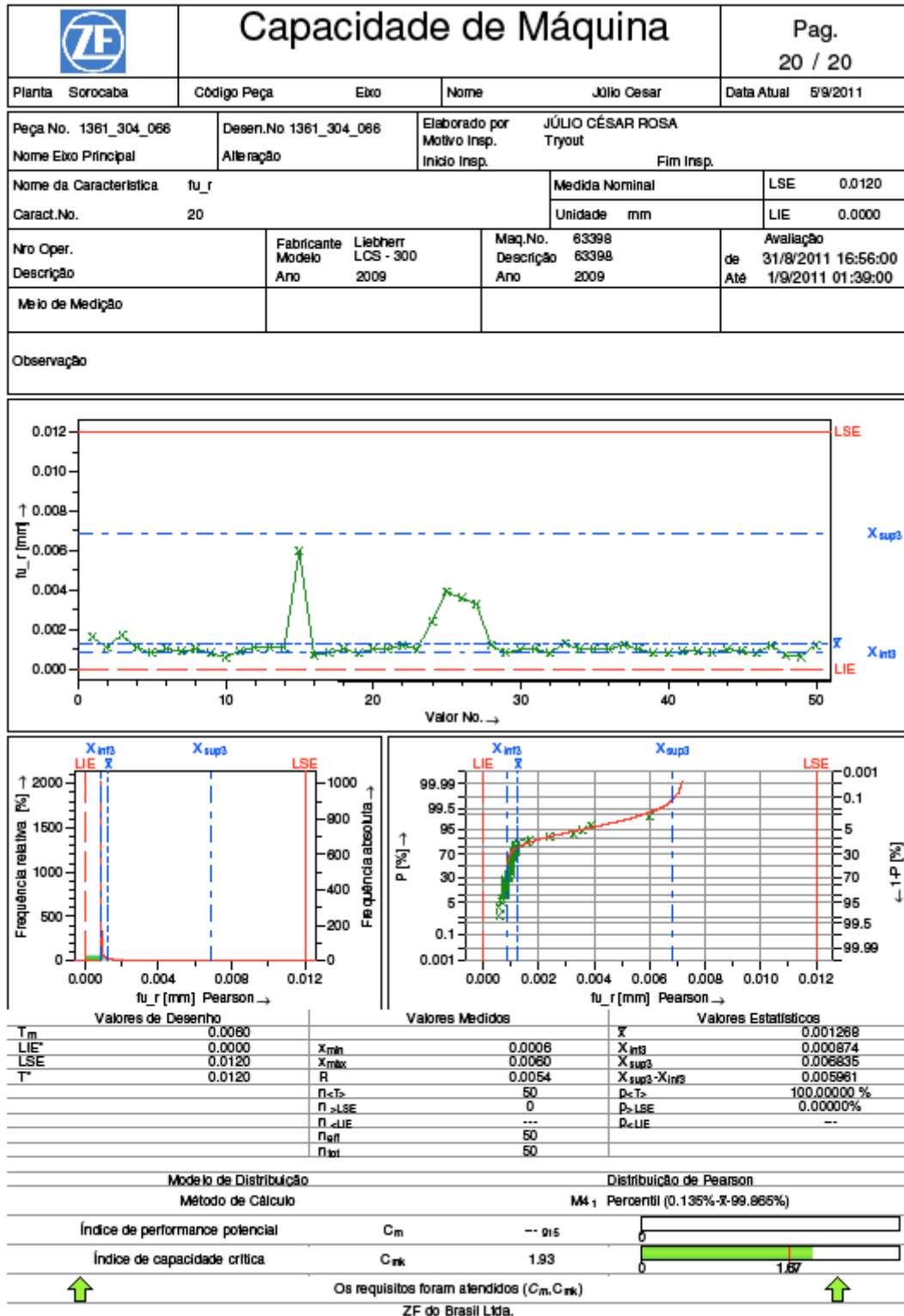
Método de Distribuição		Distribuição de Pearson	
Método de Cálculo		M4 ₁ Percentil (0.135%-99.865%)	
Índice de performance potencial	C _m	-- 915	
Índice de capacidade crítica	C _{mk}	4.44	

Os requisitos foram atendidos (C_m,C_{mk})

ZF do Brasil Ltda.

Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 = Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o índice de capacidade Potencial: Código 915 = Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para índice de capacidade Tendência: Código 989 = valor ainda não calculado.

5/9/2011 N:\Departamento\CPC - Centro de Produção de Componentes\Qualidade\TME\CEP\CEP_MSA\Capacidade ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DFG



ZF do Brasil Ltda.

Nota para Índice de capacidade Potencial e Crítica: Código 900 = Valores / Subgrupos insuficientes.
 Nota para o índice de capacidade Potencial: Código 915 = Limite inferior natural (Unilateral). Apenas o índice de capacidade crítica é usado.
 Nota para índice de capacidade Tendência: Código 989 = valor ainda não calculado.

5/9/2011 N:\Departamentos\CPC - Centro de Produção de Componentes\Qualidade\TME\CEP\CEP_MSA\Capacidade ZF do Brasil Ltda Plant Sorocaba 1361_304_066_Completo.DFG