

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

**ESTUDO DE CASO PARA AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO
DADO À TECNOLOGIA DE SUPERFÍCIE NO MEIO FABRIL**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA CATARINA PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

LUÍS FERNANDO PERES CALIL

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 2001

ESTUDO DE CASO PARA AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DADO
TECNOLOGIA DE SUPERFÍCIE NO MEIO FABRIL

LUÍS FERNANDO PERES CALIL

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA APROVADA EM SUA
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. LOURIVAL BOEHS, Dr. Eng.
ORIENTADOR

Prof. JÚLIO CESAR PASSOS, Dr.
COORDENADOR DA PÓS-GRADUAÇÃO

BANCA EXAMINADORA

Prof. CARLOS HENRIQUE AHRENS, Dr. Eng.
PRESIDENTE DA BANCA

Prof. JOÃO CARLOS ESPÍNDOLA FERREIRA, Ph.D

Prof. ROLF BERTRAND SCHROETER, Dr. Eng.

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Eng. Lourival Boehs, agradeço pela sua perseverança, dedicação e orientação, sem as quais este mestrado não poderia ter sido realizado.

Agradeço minha família e amigos, que tanto me apoiaram no desenvolvimento deste trabalho.

Finalmente, agradeço às seis empresas que viabilizaram a pesquisa de campo apresentada nesta dissertação.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE QUADROS	X
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	1
1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	3
1.3 OBJETIVOS	5
1.4 LIMITAÇÕES DESTE TRABALHO	6
1.5 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS	7
2 CONSIDERAÇÕES SOBRE TECNOLOGIA DE SUPERFÍCIE	8
2.1 TEXTURA	8
2.1.1 Cutoff	13
2.1.2 Percurso de medição	17
2.1.3 Tipo de filtro	19
2.1.4 Raio e ângulo de ponta do apalpador	20
2.1.5 Presença de patins no apalpador	21
2.1.6 Fator de escala do rugosímetro	22
2.2 INTEGRIDADE DA SUPERFÍCIE	23
2.3 TIPOS DE SOLICITAÇÃO A QUE SÃO SUBMETIDAS AS SUPERFÍCIES TÉCNICAS	24
2.3.1 Solicitação mecânica cíclica	26
2.3.2 Solicitação tribológica	29

2.3.3	Solicitação devido à ajustes com ou sem interferência	34
2.4	ETAPAS DA CADEIA PRODUTIVA DE UMA SUPERFÍCIE TÉCNICA	41
2.4.1	Definição e especificação da superfície desejada	43
2.4.2	Fabricação	48
2.4.3	Avaliação	52
2.4.4	Controle	55
2.4.5	Considerações finais	59
2.5	METODOLOGIA PROPOSTA POR MESQUITA (1992) PARA A AVALIAÇÃO E ESCOLHA DA TEXTURA DA SUPERFÍCIE	60
3	CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA DA PESQUISA	66
3.1	CLASSIFICAÇÃO	67
3.1.1	Classificação com base no objetivo	67
3.1.2	Classificação com base no procedimento	67
3.2	PESQUISA QUALITATIVA	68
3.3	PESQUISA TIPO ESTUDO DE CASO	70
3.3.1	Delineamento	71
3.3.2	Coleta de dados	75
3.3.3	Gerenciamento de dados e métodos de análise	79
3.3.4	Redação do relatório	82
4	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO	84
4.1	INTRODUÇÃO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO	84
4.2	OBJETIVO E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	84
4.3	SELEÇÃO DA AMOSTRA	86
4.4	DELINEAMENTO - MÉTODO	86

4.4.1	Questões do estudo	87
4.4.2	Proposições do estudo	87
4.4.3	Unidade de análise	88
4.4.4	Ligações lógicas entre os dados e os propósitos. Critério de interpretação e conclusão	88
4.5	COLETA DE DADOS	90
4.6	ANÁLISE DOS DADOS	92
4.7	SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS	94
4.8	ANÁLISE DOS RESULTADOS	100
4.9	ANÁLISE DA VALIDADE DA METODOLOGIA PROPOSTA POR MESQUITA (1992)	107
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
5.1	CONCLUSÕES	113
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	115
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
	APÊNDICE I - LISTA DE TÓPICOS ABORDADOS NAS ENTREVISTAS	123
	APÊNDICE II - ALGUNS MÉTODOS DE COLETA DE DADOS	130
	APÊNDICE III -EXEMPLO DE PROCEDIMENTOS	136

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - Seção simulada da superfície de uma peça _____	3
FIGURA 2 - Fluxograma das fases do trabalho _____	6
FIGURA 3 – Exemplo de superfície ranhurada _____	10
FIGURA 4 – Exemplo de superfície não-ranhurada _____	11
FIGURA 5 – Perfil geométrico X Perfil real X Perfil efetivo _____	12
FIGURA 6 – Textura superficial, incluindo rugosidade e ondulação _____	14
FIGURA 7 – Comportamento do filtro _____	15
FIGURA 8 – Efeito da variação do valor do <i>cutoff</i> - λ_c _____	16
FIGURA 9 - Corpo de prova após medição paralela com FRW 750 _____	18
FIGURA 10 – Percurso de medição x comprimento de amostragem _____	19
FIGURA 11 – Resultado das medições realizadas com os dois tipos de apalpadores nos corpos de prova lapidados _____	20
FIGURA 12 – Exemplo de distorção causada pelo patins _____	21
FIGURA 13 – Efeito do fator de escala do rugosímetro _____	22
FIGURA 14 – Superfície refundida com tipos de alteração e suas descrições _____	23
FIGURA 15 - Relação entre rugosidade (R_a), tensão residual e limite de tensão à fadiga _____	27
FIGURA 16 – ViDa 99 – Software para cálculo de fadiga _____	29
FIGURA 17 – <i>Skiwness</i> _____	33
FIGURA 18 – Dispersão natural e tolerância _____	36
FIGURA 19 – Três eixos de mesmo diâmetro com texturas diferentes _____	37
FIGURA 20 – Superfícies de capacidade de suporte diferentes _____	38

FIGURA 21 – Variação na sobremedida pela rugosidade	40
FIGURA 22 – Cadeia de valor de uma superfície técnica	41
FIGURA 23 – Nominal - o - Melhor	42
FIGURA 24 - Exemplo de perfil com curva ADK e função auto-correlação	46
FIGURA 25 - Exemplo de representação de textura em projeto	48
FIGURA 26 - Curvas comparativas para os valores de R_t obtidos por pastilhas de igual geometria	51
FIGURA 27 – Representação gráfica das fases do controle	55
FIGURA 28 – Sistemática proposta para a seleção do processo de fabricação	62
FIGURA 29 – Análise proposta pela dissertação de mestrado	65
FIGURA 30 – Método de estudo de múltiplos casos	73
FIGURA 31 – Análise de dados: modelo interativo	81

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1 - Desvios do perfil de uma superfície técnica - DIN 4760 _____	9
QUADRO 2 - Símbolo para raias segundo normas DIN 4761 e DIN ISO 1302 _____	10
QUADRO 3- Características de alguns instrumentos usados na avaliação de textura _____	13
QUADRO 4 – Relação entre <i>cutoffs</i> e raio de ponta do apalpador _____	17
QUADRO 5 – Classificação de superfície técnica segundo sua solicitação _____	25
QUADRO 6 – Comparação do processo de desgaste pelo tipo de solicitação tribológica _____	30
QUADRO 7 – Textura após a retífica de acabamento, a primeira e a segunda lapidação _____	33
QUADRO 8 – Tolerância ISA - Classe 5 a 11 em 1/1000 mm DIN 7151 _____	35
QUADRO 9 – Valores máximos de R_y para garantir a tolerância dimensional _____	37
QUADRO 10 – Algumas técnicas para medição da integridade da superfície _____	54
QUADRO 11 – Dados mínimos de integridade da superfície _____	54
QUADRO 12 - Levantamento estendido da integridade da superfície _____	55
QUADRO 13 – Simbologia de criticidade do indicador _____	59
QUADRO 14 – Descrição da superfície desejada para função SLD _____	63
QUADRO 15 - Pontos relevantes para determinar a estratégia _____	68
QUADRO 16 – Estruturas de relatórios para tipos de estudo de caso _____	82
QUADRO 17 – Padrões de comparação _____	88
QUADRO 18 – Perfil dos entrevistados _____	91
QUADRO 19 – Apresentação dos resultados _____	94
QUADRO 20 – Tabela comparativa da prática da empresa com a metodologia proposta por Mesquita (1992) _____	109
QUADRO 21 – Descrição da superfície desejada para uma SLD _____	128

QUADRO 22 – Especificação da superfície desejada para SLD _____	128
QUADRO 23 – Determinação do <i>cutoff</i> _____	137

RESUMO

Esta Dissertação de Mestrado apresenta, inicialmente, uma análise sobre a forma de abordagem da tecnologia de superfícies usinadas por parte das empresas que trabalham com tais tipos de superfícies. A pesquisa focou a avaliação das metodologias utilizadas por um grupo de empresas nas tomadas de decisões em relação à textura e à integridade das superfícies usinadas nessas empresas. Para tanto, realizou-se uma pesquisa de campo, tipo estudo de caso, em seis empresas do setor metal mecânico, apropriadamente selecionadas para tal finalidade. Nas seis empresas estudadas, foram entrevistados técnicos e engenheiros dos setores de projeto, fabricação e avaliação e controle, considerados pelos dirigentes dessas empresas aptos a responder aos questionamentos. Adicionalmente, também se pesquisou a opinião dos entrevistados sobre a possibilidade de aplicação e utilização de um modelo já existente para a avaliação e escolha da textura de uma superfície, segundo sua função e fabricação, metodologia esta desenvolvida pela pesquisadora Noêmia Mesquita e apresentada em sua Tese de Doutorado na Universidade Federal de Santa Catarina (Mesquita, 1992). Para realizar este tipo de estudo, com base em entrevistas e interpretações da manifestação gravada dos entrevistados, foram utilizadas técnicas específicas e apropriadas, discutidas no trabalho. A pesquisa atingiu seus objetivos e confirmou as expectativas iniciais, de que muitas vezes não existe uma coerência entre as várias etapas da cadeia produtiva do componente, no que diz respeito ao tratamento da tecnologia de superfície. Quanto à metodologia proposta por Mesquita (1992), também foi possível realizar uma importante avaliação preliminar quanto à validade e aplicabilidade prática da mesma.

ABSTRACT

This dissertation presents an analysis about the way that the subject machined surface technology is approached by the industries that work with this kind of surface. The research focused on the evaluation of the methodology that a group of industries use on making decisions in relation to texture and integrity of its machined surfaces. In order to carry out this study, a field work – case study one – was made in six industries selected specially for their characteristics. In this six studied industries, people from their technical staff of project, manufacture, and evaluation and control – which the company consider capable to answer questions related to the subject – were interviewed. In addition, the interviewed people was also questioned about the possibility to implement and work with an existing methodology for evaluation and choice of a surface in terms of its function and manufacture. This methodology was developed by Noêmia Mesquita (Mesquita, 1992) and presented in her doctored these at UFSC. To run a study of this kind, based on interviews and interpretation of recorded conversation with the staff, it was used specific and appropriated techniques that are discussed in this dissertation. The research reached its objectives, and confirmed the initial expectations. It means that, in terms of surface technology, for several times industries are not working coherencely among the several stages of the life-cycle of the component. It was also possible to obtain an important preliminary evaluation of the practical application of the methodology proposed by Mesquita (1992).

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

O ser humano é, por natureza, um adepto do uso de ferramentas e as vêm utilizando desde seus primórdios. Um dos desdobramentos deste uso são os processos de usinagem que se iniciaram quando o homem se deu conta de que, utilizando uma ferramenta cortante, poderia confeccionar objetos que melhor se adequassem ao uso pretendido.

Mas como deveriam ser estes objetos? Quais seriam suas características? Como aperfeiçoá-los? Diante dessas questões, que continuaram se impondo com o passar dos tempos, pode-se constatar que uma das preocupações de nossos ancestrais foi o estado da superfície resultante.

Hoje, a situação do produtor, apesar de não ter alterado tanto essas questões anteriores, diferencia-se muito pela tecnologia envolvida e pela organização da produção. Nos primeiros tempos, o artesão estava em contato direto com o cliente, pois era ele que vendia o produto e, baseado no anseio do consumidor, concebia e também manufaturava o artefato. Também era ele quem decidia se o produto final estava coerente com a encomenda recebida ou não. Este acúmulo de funções do artesão garantia que nenhuma informação fosse perdida na cadeia produtiva do artefato. Atualmente, nas grandes empresas, cada uma destas funções é executada separadamente, muitas vezes por inúmeras pessoas ou até por outras empresas, tornando-se um desafio garantir a fidelidade da informação entre as diversas equipes de venda, marketing, projeto, manufatura, controle, etc., e mesmo dentro de cada área.

Paralelamente a essas alterações na organização da produção, a tecnologia também evoluiu bastante. Hoje, os componentes são levados a situações extremas, exigindo-se de sua

superfície as mais variadas funções. Além disso, também evoluíram os meios de fabricação. Tem-se, na atualidade, uma enorme variedade de processos produtivos que podem ser escolhidos de acordo com as características desejadas para a superfície resultante. Também são várias as formas de avaliação e controle da superfície do componente, resultando em um número inimaginável de combinações possíveis de funções, processos de fabricação e formas de avaliação e controle das superfícies funcionais do componente. O objetivo deste estudo é avaliar como são tomadas as decisões, desde a definição de como deve ser a superfície do produto até o seu controle final, contemplando a metodologia utilizada nas várias fases da cadeia produtiva.

Mas, por que o estado da superfície é tão importante? Ao fazer uma análise de um componente mecânico, observa-se que, de modo geral, a região mais solicitada é a superfície do corpo, pois é nela que usualmente concentra-se o maior nível de tensões. É também na superfície do componente que mais freqüentemente se nucleam trincas e onde fatalmente ocorrem solicitações por atrito, além de vários outros tipos de solicitações, como será visto mais adiante (item 2.3).

Tais superfícies, que desempenham uma função técnica importante no componente mecânico, serão designadas, neste trabalho, como **superfícies técnicas**, assim como, por exemplo, nos trabalhos de Bet (2000), Mesquita (1992) e Weingraber (1989).

O conceito de superfície está intimamente ligado à noção de interior e exterior e, de acordo com Bet (2000), não se pode interpretar uma superfície simplesmente como sendo a parte do corpo que o separa do meio ambiente, mas sim como sendo uma seqüência de camadas.

Na figura 1, é mostrada uma representação esquemática da superfície de um componente. Pode-se observar que existem duas linhas de estudo da superfície: uma que se preocupa com a geometria da camada externa - a **textura da superfície**, e outra com as alterações sofridas pelo material - a **integridade da superfície**. Essas duas linhas serão detalhadas no capítulo 2. Outro

conceito que será bastante usado neste trabalho é o de **tecnologia de superfície**, que abrange textura e integridade das superfícies técnicas.

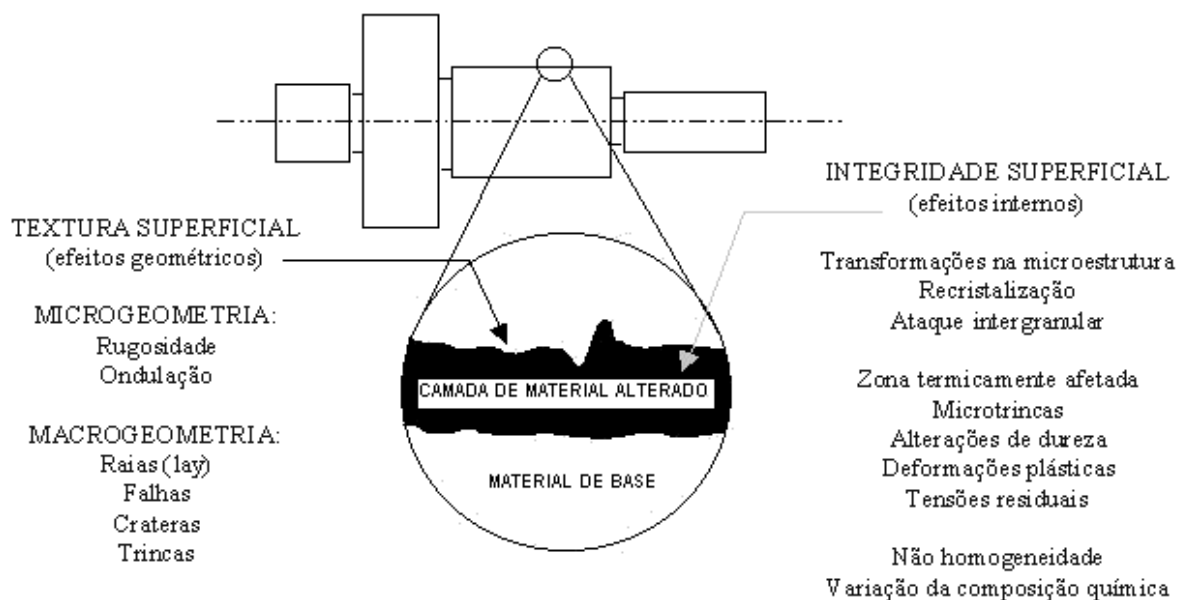


FIGURA 1 - Seção simulada da superfície de uma peça (Bet, 2000)

1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

A tecnologia de superfície é alvo de pesquisa há bastante tempo, o que pode ser evidenciado pelas inúmeras normas publicadas pelos institutos internacionais. Mas no Brasil é relativamente recente o desenvolvimento de pesquisa nessa área. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT apresenta apenas duas normas sobre o assunto. Uma das instituições pioneiras, a Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, iniciou a pesquisa em Análise de Superfícies Usinadas em 1989, quando foi introduzida uma disciplina de pós-graduação na área, sob a responsabilidade de uma equipe formada pelo Prof. Lourival Boehs. Em 1993, foi criado o Laboratório de Análise de Superfícies Usinadas – LASUS, com o objetivo de desenvolver

pesquisas na área de tecnologia de superfícies. Desde então, procura-se suprir a necessidade de se otimizar as superfícies técnicas, tendo em vista os requisitos de projeto, fabricação, adequação ao uso e desempenho quando em utilização. Com o propósito de satisfazer tais requisitos, levantam-se as seguintes questões:

- a) Qual a influência da textura e da integridade da superfície sobre a função a ser por ela exercida?
- b) Qual a textura mais apropriada e os efeitos de integridade suportáveis e desejáveis para que a superfície possa desempenhar adequadamente a sua função?
- c) Como especificar essa superfície?
- d) Como produzir/fabricar essa superfície?
- e) Como avaliar e controlar essa superfície?

Observa-se, com frequência, principalmente no meio industrial, que essas questões não são devidamente consideradas, em decorrência de vários fatores, tais como:

- a) Falta de conhecimentos sobre o assunto por parte dos projetistas que, de maneira geral, agem de forma intuitiva, e com tendências fortemente conservativas, isto é, optando pela robustez;
- b) Falta de capacitação do corpo técnico de fabricação para assegurar os requisitos de textura e integridade, por ocasião da produção desse componente;
- c) Pouco conhecimento sobre as metodologias e normas existentes em relação à textura e à integridade;
- d) Falta de metodologias e equipamentos para proceder a devida avaliação da textura e da integridade das superfícies técnicas produzidas pelos diferentes processos de fabricação; e

- e) Falta de motivação e reconhecimento da importância do assunto, tendo em vista os atuais padrões de qualidade e custos de fabricação no contexto do mercado globalizado.

Diante desse panorama, surgiu esta proposta de dissertação de mestrado, cujos objetivos serão descritos a seguir.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo central deste trabalho é pesquisar, na indústria metal-mecânica, como são tratadas as questões relacionadas com a integridade e, principalmente, com a textura das superfícies técnicas e, numa segunda etapa, utilizar os resultados desta pesquisa para analisar a validade da metodologia para a avaliação e escolha da textura de superfície proposta por Mesquita (1992).

Convém ressaltar que não é pretensão deste trabalho caracterizar o parque industrial nacional, e sim fazer uma pesquisa exploratória em algumas empresas selecionadas a fim de averiguar a forma como vem sendo tratado o assunto tecnologia de superfícies.

Além disso, pretende-se:

- a) Evidenciar a crescente preocupação com o assunto;
- b) Dar indicativos da preocupação do meio fabril em relação à tecnologia de superfícies;
- c) Fomentar a discussão sobre a prática atual;
- d) Questionar as metodologias pesquisadas;
- e) Identificar as maiores carências no meio fabril em relação à tecnologia de superfícies;
- f) Propiciar a troca de tecnologia entre indústria e universidade; e
- g) Produzir material técnico capaz de auxiliar as tomadas de decisões em tecnologia de superfícies, no meio fabril.

Para tanto, este trabalho contou com as seguintes etapas (figura 2).

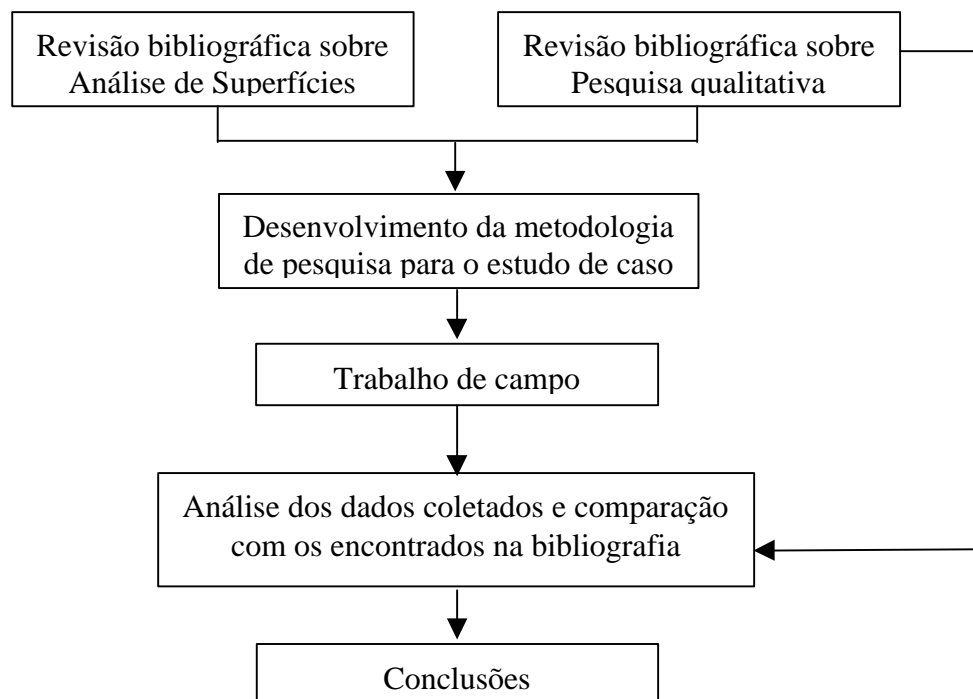


FIGURA 2 - Fluxograma das fases do trabalho

1.4 LIMITAÇÕES DESTE TRABALHO

- Esta pesquisa não pretende fazer inferência de todo o parque industrial do país, mas tem condições de generalizar fatos, como, por exemplo, o fato de a integração entre empresa e centro de pesquisa ser vista de forma interessante por alguns dos entrevistados, demonstrando o grande potencial do mercado para esta prática - o que será melhor abordado no capítulo 4;
- Não se pretende também avaliar a qualidade intrínseca do produto;
- A coleta de dados deste tipo de pesquisa é extensa; em virtude disso, resulta em um grande volume de documentos, o que torna difícil a generalização dos resultados (Yin,

1994). Portanto, faz-se necessário restringir o número de empresas a serem pesquisadas; e

- d) A bibliografia em "metodologia de especificação, fabricação, avaliação e controle de superfícies" é reduzida.

1.5 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

Esta dissertação contempla uma breve revisão bibliográfica sobre tecnologia de superfície (no capítulo 2), que se concentra em coletar referências, buscando informações com a finalidade de fundamentar as decisões relacionadas à análise de superfícies, especialmente naquilo que se refere às respostas para as cinco questões levantadas no item Justificativa e motivação. Partindo-se do pressuposto de que a superfície é uma das partes mais importantes para o desempenho do componente, esta revisão pretende fornecer subsídios tanto para a definição e a especificação da superfície desejada, quanto para se determinar qual processo de fabricação deve ser utilizado e, finalmente, qual a tomada de decisão adequada para avaliar e controlar esta superfície.

No terceiro capítulo é apresentada uma revisão sobre pesquisa qualitativa que teve como objetivo dar embasamento à seleção da metodologia e das ferramentas a serem utilizadas no estudo de caso. Para tanto, a revisão conta com um breve estudo de algumas técnicas existentes, descrevendo de maneira mais aprofundada apenas aquelas que melhor sirvam ao caso pesquisado.

O estudo de caso em questão está no capítulo 4, que descreve como foi realizada a pesquisa, oferecendo alguns resultados e, principalmente, a análise de alguns destes resultados. Finalmente, o último capítulo traz as conclusões da investigação e as recomendações para futuros desdobramentos, que a pesquisa comporta.

2 CONSIDERAÇÕES SOBRE TECNOLOGIA DE SUPERFÍCIE






Este capítulo limita-se a fornecer uma fundamentação teórica sobre tecnologia de superfície para o posterior entendimento dos resultados da pesquisa de campo. Desta forma, inicialmente serão apresentados alguns conceitos fundamentais sobre textura e integridade nos itens 2.1 e 2.2. Em seguida, serão apresentadas algumas das solicitações mais comuns relativas ao estudo de superfícies de componentes mecânicos, e no item 2.4 discorrer-se-á sobre as etapas da cadeia produtiva da superfície técnica, sendo, por fim, elaborado um breve resumo da metodologia de Mesquita (1992) no item 2.5.

Conforme citado no capítulo anterior, o objetivo desta pesquisa é avaliar como está se tratando tecnologia de superfície no meio fabril. Para isso pretende-se avaliar como as empresas estudadas tratam o referido assunto dentro de toda a cadeia produtiva da superfície. Sendo assim, o quarto item deste capítulo, que aborda exatamente este assunto, tem grande importância para o entendimento deste trabalho. Mas se a intenção do leitor é aprimorar o conhecimento técnico em textura ou integridade de superfície, recomenda-se a leitura da bibliografia referenciada a seguir.

2.1 TEXTURA

A textura é a caracterização geométrica da superfície. Mas é preciso esclarecer que existem vários níveis de desvios geométricos na superfície de uma peça, sendo que a textura não abrange a todos, limitando-se aos desvios de segunda a quinta ordem, ou seja, ondulação e rugosidade, como mostra o quadro 1 (Weingraber e Sender apud Bet, 2000).

QUADRO 1 - Desvios do perfil de uma superfície técnica - DIN 4760 (DIN, 1982)

DESVIO DE FORMA Representação em um perfil	Exemplos de tipo de desvio	DESVIO DE FORMA Representação em um perfil	Exemplos de tipo de desvio
	FORMA Paralelismo; cilindricidade; etc.		ONDULAÇÃO Ranhuras ou raias
	RUGOSIDADE Ondas		RUGOSIDADE Estrias; escamas; protuberâncias; etc
5ª Ordem – não representável graficamente	RUGOSIDADE Microestrutura do material	6ª Ordem – não representável graficamente	Reticulado cristalino do material
	Superposição dos desvios de 1ª a 4ª ordem		

Com o intuito de descrever os vários tipos de textura possíveis, a norma DIN 4761 (DIN, 1978) determina padrões e define termos para a descrição qualitativa da textura, a fim de agrupá-las e classificá-las com base na forma de suas marcas, preocupando-se, ainda, em trazer símbolos para a caracterização destas superfícies.

Inicialmente, a norma define ranhura e classifica seus tipos, por exemplo, triangular uniforme (símbolo P 1) ou cristas abauladas não-uniformes (P 3 u), o que pode ser usado como um primeiro passo para a especificação do tipo de perfil de textura. E, assim, distingue a textura das superfícies em dois grandes grupos: ranhuradas e não-ranhuradas.

Quanto à configuração das ranhuras, é feita uma distinção entre superfícies com ranhuras ordenadas e não-ordenadas, unidirecionais e cruzadas, além de ranhuras com formas particulares. Estas marcas das ranhuras podem, ainda, ser subdivididas em retilíneas ou não-retilíneas e também contínuas ou descontínuas¹.

¹ A norma mostra apenas as ranhuras contínuas, mas a classificação estende-se às descontínuas também.

Por exemplo, uma superfície, como a que consta na figura 3, é definida da seguinte forma: Ranhura ordenada – cruzada – reta – paralela – com distanciamento irregular. A indicação é que ela poderia ser obtida por brunimento, por exemplo.

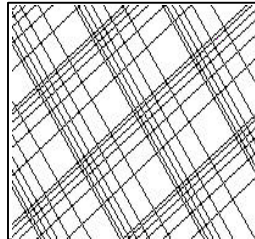


FIGURA 3 – Exemplo de superfície ranhurada (DIN, 1978)

A norma DIN 4761 (DIN, 1978) apresenta, ainda, símbolos para designar os vários tipos de texturas. No entanto, é curioso o fato de a norma DIN ISO 1302 (DIN, 1992) propor uma simbologia diferente para raias (disposição das ranhuras), como mostra o quadro 2, além de fazer recomendações para a representação de textura em projeto. Neste trabalho, entretanto, será adotada a simbologia recomendada pela NBR 8404 (ABNT, 1984), que é coerente com a ISO DIN 1302 (DIN, 1992).

QUADRO 2 - Símbolos para raias segundo normas DIN 4761 (DIN, 1978) e DIN ISO 1302 (DIN, 1992)

Designação	Símbolo DIN 4761	Símbolo de acordo com DIN ISO 1302 e NBR 8404
<i>Ranhuras desordenadas</i>		
Ranhuras retas e paralelas	B 1	= ou ^
Ranhuras retas com cruzamento	B 2	X
Ranhuras circulares	B 3	C
Ranhuras em forma espiral	B 4	C
Ranhuras curvas deslocada linearmente	B 5	M
Ranhuras curvas deslocada circularmente	B 6	R
Ranhuras curvas deslocada espiralmente	B 7	R ou M
<i>Ranhuras desordenadas</i>		
Ranhuras retas com cruzamento irregular	B 8	M
Ranhuras curvas com cruzamento irregular	B 9	M

Apesar de não ser a simbologia adotada, a norma DIN 4761 (DIN, 1978) é de grande importância para este trabalho, pois apresenta a caracterização da textura e dos defeitos superficiais, o que é fundamental para a definição e especificação da superfície desejada.

Quanto às superfícies não-ranhuradas, a norma DIN 4761 (DIN, 1978) caracteriza-as como tendo aparência regular ou irregular, sendo, geralmente, produzidas por processos não-cortantes, sem nenhuma direção de textura preferencial, como acontece em fundição, deposição ou remoção eletrolítica de material, conformação, jato-de-areia, etc. É interessante observar que se uma operação de corte foi feita anteriormente, as características da textura dos grãos também podem ser superpostas sobre as marcas das ranhuras.

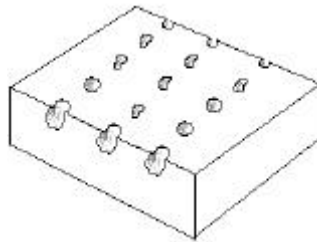


FIGURA 4 – Exemplo de superfície não-ranhurada (DIN, 1978).

A figura 4 mostra um exemplo de superfície não-ranhurada, definida pela norma como: Superfície com depressões pouco profundas (Símbolo – A 1 B) e caracterizada por ter orifícios localizados, mais ou menos bem marcados, com formato de circular a angular. A indicação é que ela poderia ser obtida, por exemplo, por jato de granalha.

O outro conceito a ser apresentado é relativo à diferença entre superfícies geométrica, real e efetiva (ABNT, 1988) e (DIN, 1982), como demonstra a figura 5.

- A *superfície geométrica* é aquela isenta de erros de forma e textura.
- A *superfície real* é aquela resultante do processo de fabricação, “que limita o corpo e o separa do meio que o envolve” (ABNT, 1988).

- A *superfície efetiva* é aquela avaliada pela técnica de medição. Como os instrumentos de medição, por sua vez, não conseguem captar todas as características da textura, esta torna-se uma aproximação da superfície real.

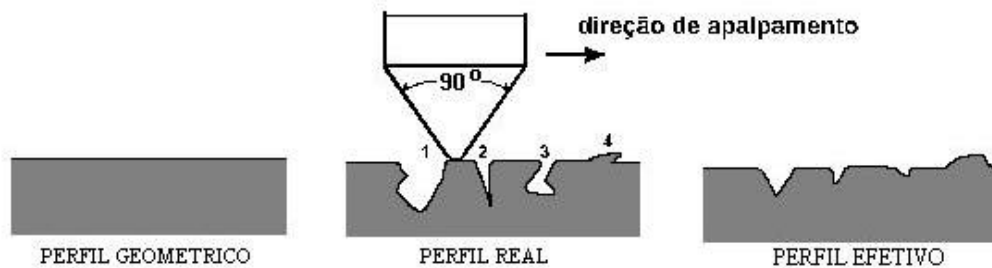


FIGURA 5 – Perfil geométrico X Perfil real X Perfil efetivo (Bet, 2000)

Assim, dependendo da resolução do instrumento de medição, a superfície efetiva estará mais ou menos próxima da real. Isto significa que, aumentando a resolução do instrumento de medição, por exemplo, alterar-se-á o resultado dos parâmetros de textura.

A norma ISO 1878 (ISO, 1983) classifica os instrumentos de medição dimensionais em três classes básicas: instrumentos para medição de erro de forma, de ondulação e de rugosidade, sendo os dois últimos os objetos de interesse para o estudo da textura nesta pesquisa. Existem vários princípios de medição de textura, cada um com uma faixa de medição e resolução características. Komanduri, Lucca e Tani (1997) ilustraram este fato através do quadro 3 e salientaram que, ao definir valores para os parâmetros de textura da superfície, deve-se considerar não somente o processo de fabricação, mas também o método de caracterização da topografia.

QUADRO 3– Características de alguns instrumentos usados na avaliação de textura

Instrumento	Resolução [nm]		Faixa de medição[mm]	
	Lateral	Vertical	Lateral	Vertical
Estilete (apalpador mecânico)	100–250	0,3	> 100	1
Microscópio de interferometria	500	< 0,1	7	0,1
Microscópio de força atômica	2	0,2	0,1	0,005
Microscópio de varredura por tunelamento	2,5	0,2	0,1	0,0001
Microscópio Nomarski	> 500	2	-	-
Microscópio eletrônico de varredura (MEV)	10	-	-	0,002
Microscópio eletrônico de transmissão (MET)	2	2000	-	0,0001

Uma vez escolhido o instrumento de medição mais adequado, deve-se ainda delinear os parâmetros de entrada para seu funcionamento, como por exemplo: *cutoff*, comprimento de medição, filtro, etc., no caso do instrumento ser um rugosímetro. Esses parâmetros de entrada formam a condição de contorno da avaliação e sua determinação é essencial para que os resultados tenham validade.

Uma vez que o instrumento de medição de textura mais utilizado no meio fabril é o rugosímetro, a seguir serão apresentados alguns dos parâmetros de entrada, assim como os comentários sobre a maneira que eles podem influenciar no resultado da medição.

2.1.1 CUTOFF

Como foi visto no início deste capítulo, os desvios geométricos podem ser hierarquizados em seis níveis. O comprimento (λ) do desvio de primeira ordem é muitas vezes maior que a sua profundidade (A) e a relação entre eles (λ/A) também pode ser usada para caracterizá-los. Neste caso, $\lambda/A > 1000$; para a ondulação λ/A varia de 100 a 1000; nos desvios de terceira a quinta ordem, a relação entre λ/A é de 5 a 100 (Sander e Reichard apud Bet, 2000); sendo textura o somatório dos desvios de 2^a a 5^a ordem, como mostra a figura 6.

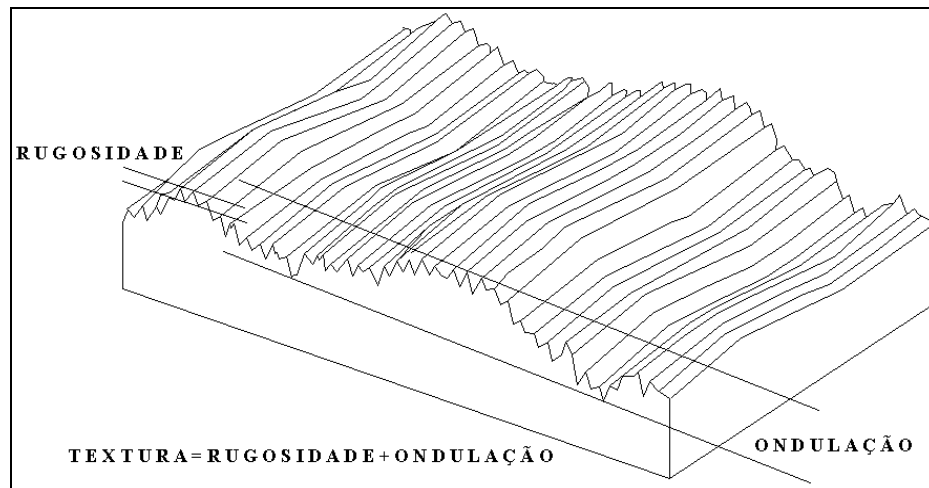


FIGURA 6 – Textura superficial, incluindo rugosidade e ondulação (PREDEV, 2000)

A fim de obter um parâmetro padronizado para fazer a filtragem do perfil, implementou-se o *cutoff* - λ_c , definido pela NBR 6405 (ABNT, 1988) como o “comprimento da onda senoidal para o qual o filtro de ondas transmite 75% do valor real da amplitude da ondulação – é dado em milímetros”. Numericamente, o termo *cutoff* especifica a frequência limite superior ou inferior com que os componentes são extraídos ou eliminados, respectivamente. Assim, pode-se, uma vez determinado o *cutoff*, filtrar o que é rugosidade, ondulação ou desvios de ordem superior (tais como planeza, cilindricidade, etc.), como mostra a figura 7.

Na figura, pode-se distinguir três perfis diferentes: um anterior à filtragem e dois posteriores a ela. O primeiro é chamado de perfil primitivo (perfil - P) e nele são calculados parâmetros como: P_t , t_p^2 , e outros parâmetros da curva de Abbott-Firestone. Os outros dois são os perfis de ondulação (perfil W) e de rugosidade (perfil R) e neles são calculados, respectivamente, parâmetros como W_a , W_t , etc. e R_a , R_t , etc.

² Boa parte dos parâmetros de textura já estão padronizados e suas definições podem ser encontradas em normas como DIM, ISO, ABNT, etc. Já os que ainda não estão, pode-se colher informações em publicações como Bet (2000); “*Surface Metrology Guide*” (PREDEV, 2000), etc.

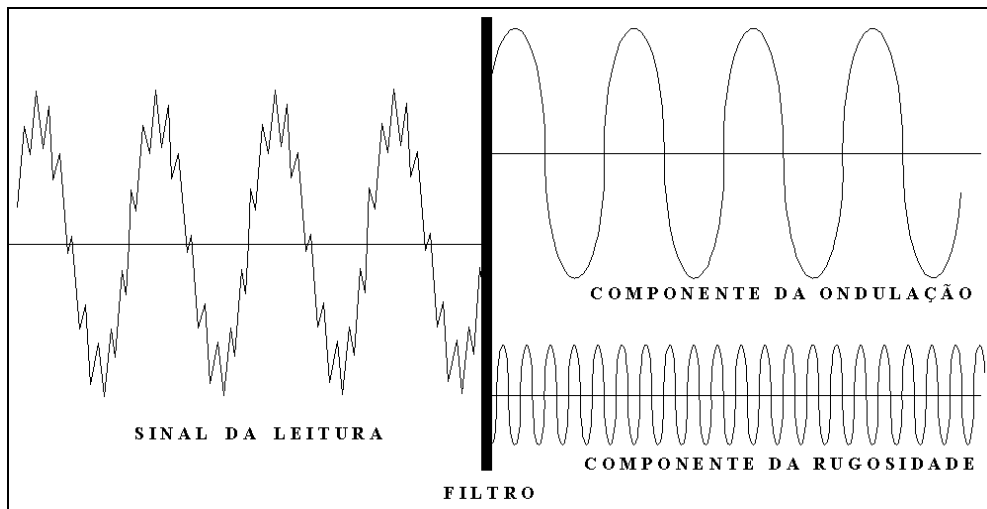


FIGURA 7 – Comportamento do filtro (PREDEV, 2000)

Percebe-se que o fator que determina se um componente do perfil primitivo será considerado como ondulação ou rugosidade é exatamente o *cutoff*. Assim, uma escolha equivocada pode comprometer o resultado da medição.

Para minimizar este problema, padronizou-se cinco valores para o *cutoff*: 0,08; 0,25; 0,80; 2,50; e 8,00mm. No entanto, alguns rugosímetros permitem entrar com valores diferentes, o que é desaconselhável.

A figura 8 mostra o efeito dessa distorção. Primeiramente, é apresentado o perfil anterior ao filtro e, em seguida, a faixa de valor esperada como resultado da medição, R_a , utilizando o *cutoff* de 0,8; 0,25; e 0,08 mm. Vale lembrar que o parâmetro R_a é bastante robusto, pois seu cálculo leva em consideração todos os pontos do perfil. Assim, é de se esperar que em parâmetros de máximo como o R_t ou R_z essa diferença seja ainda maior.

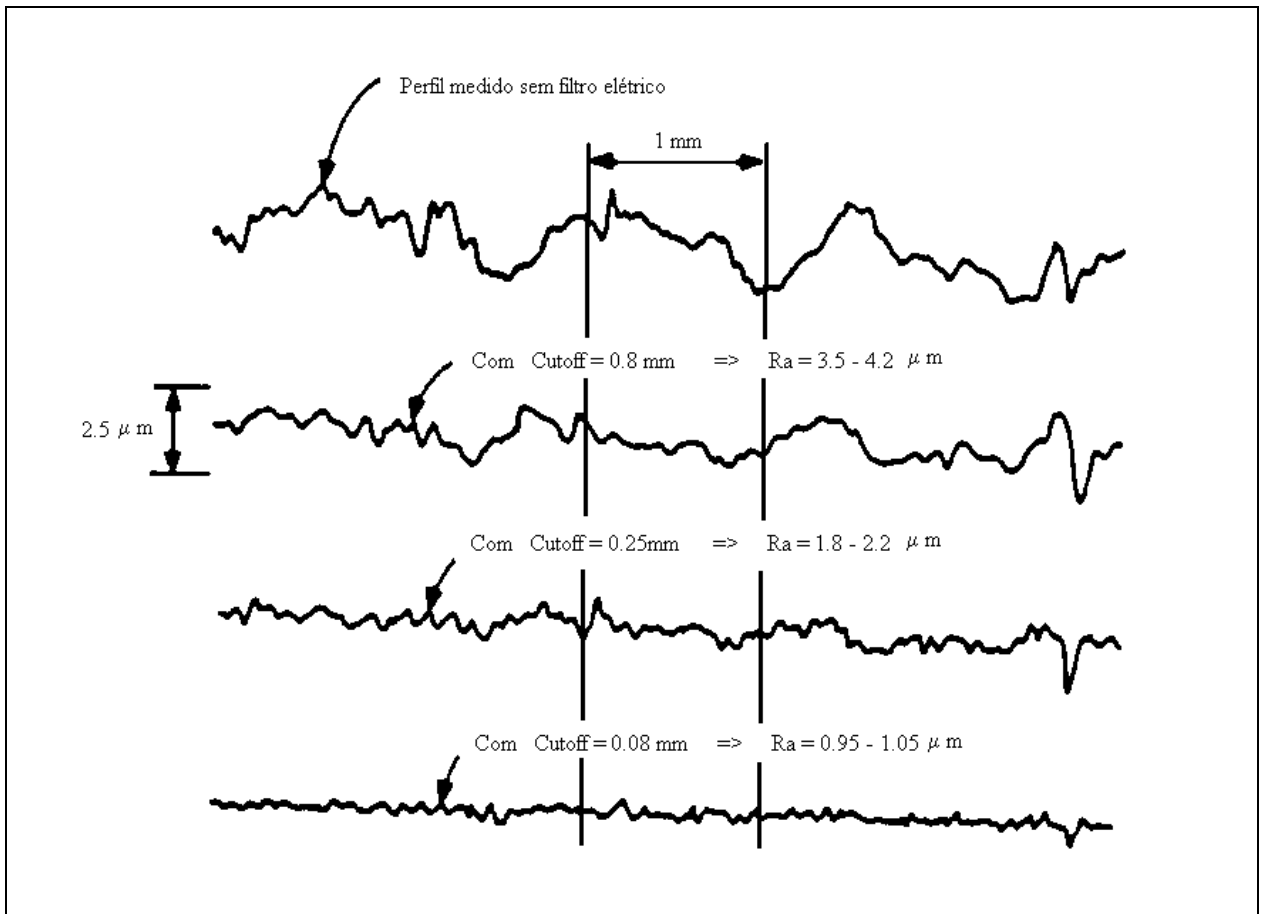


FIGURA 8 – Efeito da variação do valor do *cutoff* - l_c

Note-se que *cutoff*, na verdade, é o limite superior da filtragem, uma vez que ele atenua as oscilações do perfil com comprimento de onda longo (ASME, 1995). No entanto, também existe o limite inferior, o λ_s , que é definido pela norma ASME B 46.1 (ASME, 1995) como sendo o *cutoff* de valor nominal, tipicamente em μm , que atenua as oscilações mais finas que as do perfil de rugosidade. Essas atenuações são provenientes de três fontes: mecânica, por causa da dimensão finita da ponta do apalpador; elétrica, pelo filtro; e digital, pelo alisamento dos pontos de medição. O quadro a seguir correlaciona os dois *cutoff* com o diâmetro da ponta do apalpador.

QUADRO 4 – Relação entre *cutoffs* e raio de ponta do apalpador (ASME, 1995)

λ_c	$\lambda_c:\lambda_s$	Raio de Ponta do Diamante
0,003 in (0,08 mm)	30	$\leq 0,00008$ in (2 μm)
0,01 in (0,25 mm)	100	$\leq 0,00008$ in (2 μm)
0,03 in (0,8 mm)	300	$\leq 0,00008$ in (2 μm)
0,1 in (2,5 mm)	300	$\leq 0,0002$ in (5 μm)
0,3 in (8,0 mm)	300	$\leq 0,0004$ in (10 μm)

Observe-se que existe uma recomendação para o diâmetro mínimo da ponta do apalpador, pois ele funciona como um filtro mecânico – como será apresentado no item 2.1.4 - Raio e ângulo de ponta do apalpador.

2.1.2 PERCURSO DE MEDIÇÃO

A norma NBR 6405 (ABNT, 1988) define percurso de medição como: a “extensão do trecho útil do perfil de rugosidade usado diretamente na avaliação, projetado sobre a linha média”. Veja-se que a norma utiliza o termo “útil”, pois o percurso de apalpamento é acrescido de um trecho inicial (l_v) e outro final (l_n) que são descartados e, conseqüentemente, não são usados para o cálculo dos parâmetros de textura, não sendo, portanto, “úteis”.

Esses dois trechos têm a finalidade de permitir o amortecimento das oscilações mecânicas e elétricas finais do sistema (ABNT, 1988), eliminando as possíveis distorções causadas por problemas de filtragem e pela instabilidade do apalpador.

A figura 9 ilustra este trecho de instabilidade do apalpador na medição paralela do corpo de prova de alumínio em um rugosímetro S8P da Perthen com apalpador FRW 750 (sem patins). Neste tipo de medição, o apalpador retorna ao ponto inicial ao concluir cada leitura. A mesa, então, desloca-se lateralmente para, em seguida, iniciar-se a próxima medição paralela à anterior. O fato é que o apalpador não desliza sobre a superfície quando a mesa desloca, causando uma

torção na haste. Ao iniciar a medição, o apalpador tende a assumir a posição normal (sem torção na haste), o que causa um percurso de transição (Mostiack, 1999).

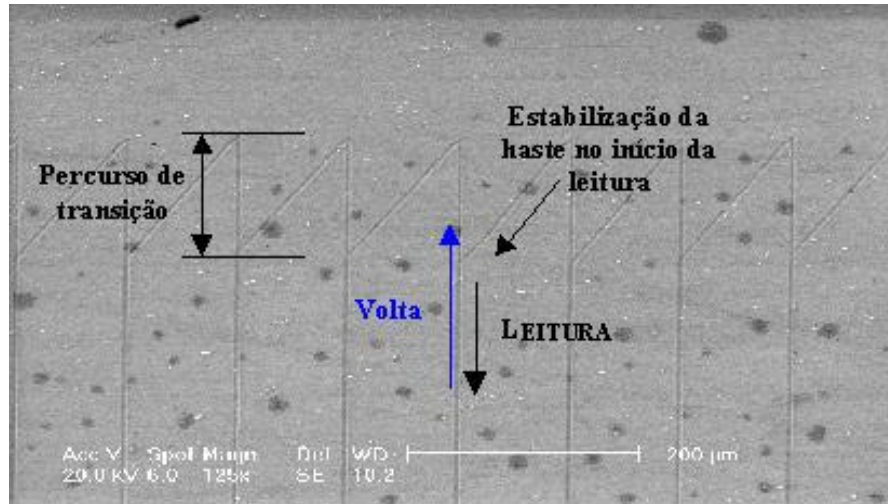


FIGURA 9 - Corpo de prova após medição paralela com FRW 750

Quanto ao percurso final, alguns apalpadores não o possuem, eliminando apenas o primeiro trecho do percurso de apalpamento (ABNT,1988). Mas a prática geral considera os dois trechos.

Outro conceito importante é o de comprimento de amostragem, que, invariavelmente, é quase igual ao *cutoff* (PREDEV, 2000). Segundo Whitehouse apud Bet (2000), através de estudos práticos realizados na década de quarenta envolvendo centenas de superfícies técnicas típicas, chegou-se à conclusão que o comprimento de medição (l_m) deveria ser igual a cinco comprimentos de amostragem, como mostra a figura 10. Esta determinação tornou-se padrão e os rugosímetros vêm pré-ajustados para essa condição. No entanto, alguns rugosímetros permitem alterar esse valor, sendo conveniente, por exemplo, para se fazer uma medição mais curta.

Assim, pode-se ter um percurso de medição maior ou menor, sem alterar o *cutoff* e a condição de filtragem.

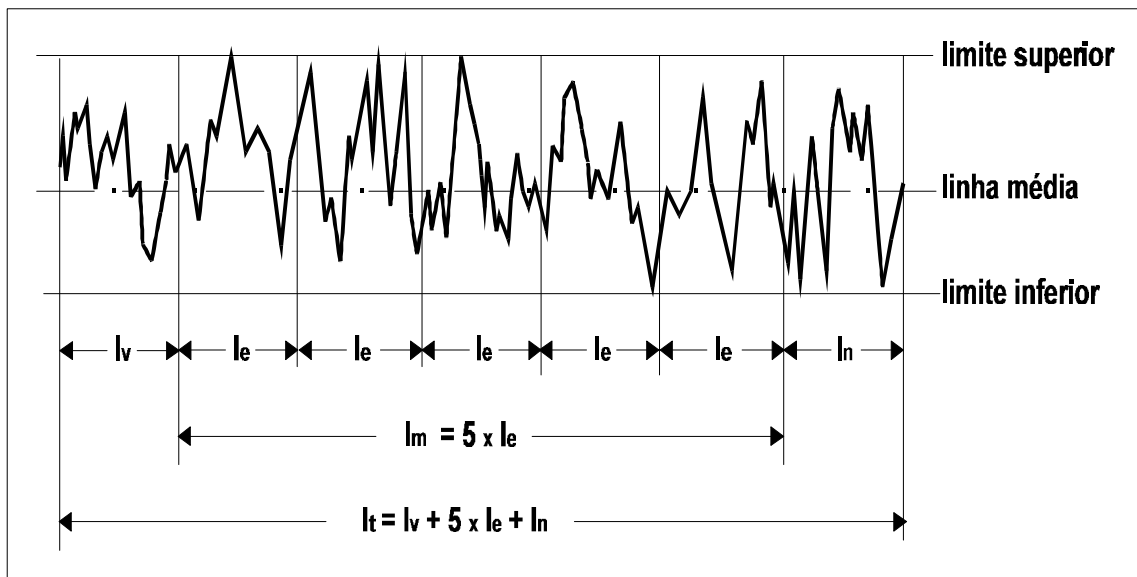


FIGURA 10 – Percorso de medição x comprimento de amostragem

2.1.3 TIPO DE FILTRO

Existem vários tipos diferentes de filtros que são utilizados em rugosímetros, desde filtros analógicos, como o 2RC, a filtros digitais, como o Gaussiano e o equivalente digital do 2RC. O Surface Metrology Guide (PREDEV, 2000) traz as características do funcionamento destes filtros e dos triangulares e R_k (específico para superfícies platafórmicas).

O que diferencia um filtro de outro é a forma como ele separa a rugosidade da ondulação. Isso significa que na adoção de um tipo de filtro pode-se estar somando componentes à rugosidade que não estariam usando outro tipo de filtro e, conseqüentemente, alterando o resultado da medição.

Deve-se sempre ter em mente que a escolha do tipo de filtro, com a correspondente seleção do *cutoff*, representa uma das mais importantes condições para obtenção de dados apropriados sobre a textura de superfícies (Bet, 2000).

2.1.4 RAIO E ÂNGULO DE PONTA DO APALPADOR

A dimensão da ponta está ligada com a resolução do equipamento (figura 5). Assim, uma ponta com raio menor e ângulo mais agudo tende a penetrar mais profundamente nas ranhuras da superfície e, portanto, obterá um perfil avaliado mais próximo do real. Entretanto, é uma estrutura mais frágil.

Em vista disso, a dimensão da ponta também influencia no resultado da medição. Esse problema foi mais explorado no Laboratório de Análise de Superfícies Usinadas – LASUS – e em 1998 foi publicado o artigo “Comparação dos valores de R_a , R_z e R_t de superfícies usinadas, obtidos em medições com sonda óptica e com estilete” (Boehs; Bet e Mostiack, 1998), que apresentou os resultados ilustrados na figura a seguir.

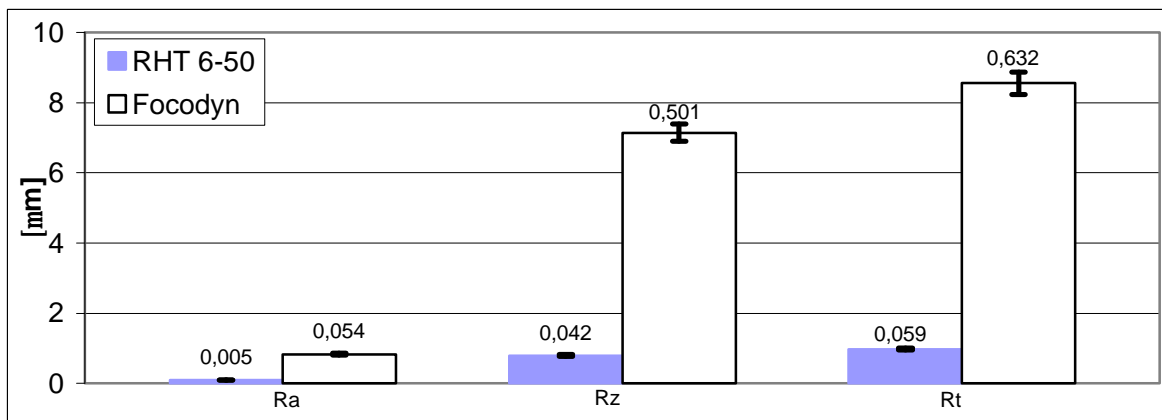


FIGURA 11 – Resultado das medições realizadas com os dois tipos de apalpadores nos corpos de prova lapidados (Boehs; Bet e Mostiack, 1998)

Pode-se observar, na figura 11, que o valor do parâmetro R_t é dez vezes maior caso esteja-se usando um apalpador tipo FOCODYN³. Isto leva à seguinte questão: se a especificação

³ O rugosímetro usado foi um *Perthen S8P* com unidade de avanço linear *PKR* (resolução de 0,01 μ m); a sonda mecânica foi a *RHT 6-50*, com patim de apoio em tandem, cone de diamante 90° e 5 μ m de raio de ponta, campo vertical de 50 μ m; e a sonda óptica foi a *FOCODYN*, campo vertical 250 μ m e diâmetro do feixe igual a 1 μ m. Os corpos de prova foram de aço inox SAE 316.

da superfície for $R_t \leq 0,2 \mu\text{m}$, esta superfície está ou não conforme? Esse é um dos assuntos discutidos no item 2.4.

2.1.5 PRESENÇA DE PATINS NO APALPADOR

Muitos apalpadores mecânicos possuem um patim. Este dispositivo, usado em geral em rugosímetros portáteis, acaba funcionando como um filtro mecânico do sinal de leitura.

Os patins de apoio são utilizados para que a própria superfície da peça possa servir de referência no levantamento de um perfil de rugosidade. Dependendo da relação entre o raio do patim e a ondulação da superfície poderá haver uma filtragem parcial ou até mesmo total da ondulação. Na realidade, um patim funciona como um filtro passa alta, bloqueando a ondulação e fazendo com que o estilete responda somente à rugosidade (Bet, 2000).

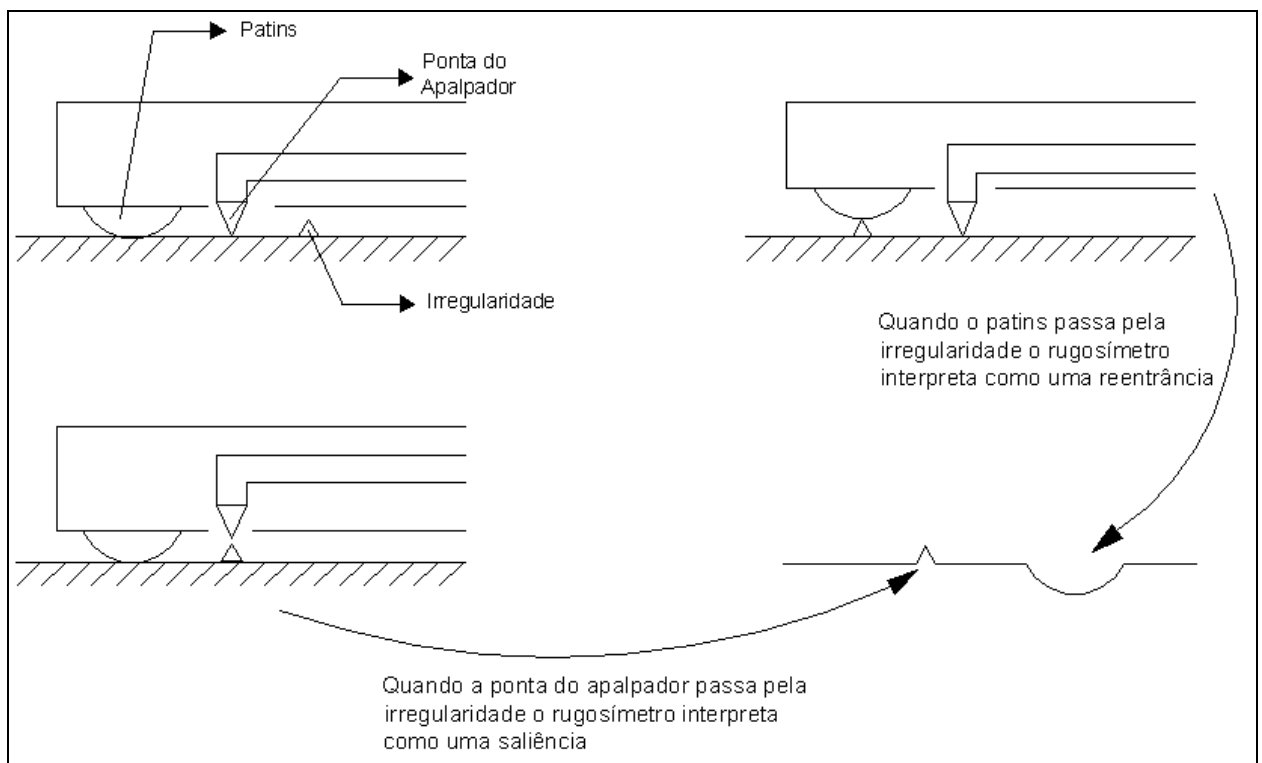


FIGURA 12 – Exemplo de distorção causada pelo patins (ASME, 1995)

Assim, a adoção ou não do patim também pode afetar o resultado da medição, sendo mais um item a ser levado em consideração.

2.1.6 FATOR DE ESCALA DO RUGOSÍMETRO

O fator de escala do rugosímetro não modifica o resultado da medição (do valor dos parâmetros), mas pode conduzir a interpretações errôneas.

A figura 13 mostra um comparativo entre o perfil apresentado pelo rugosímetro e a foto da superfície que foi avaliada. Observa-se que existe um fator de escala diferente para as coordenadas verticais e horizontais, distorcendo o perfil. Desta forma, deve-se tomar cuidado com a análise da textura pelo impresso do rugosímetro, pois sua escala não é proporcional.

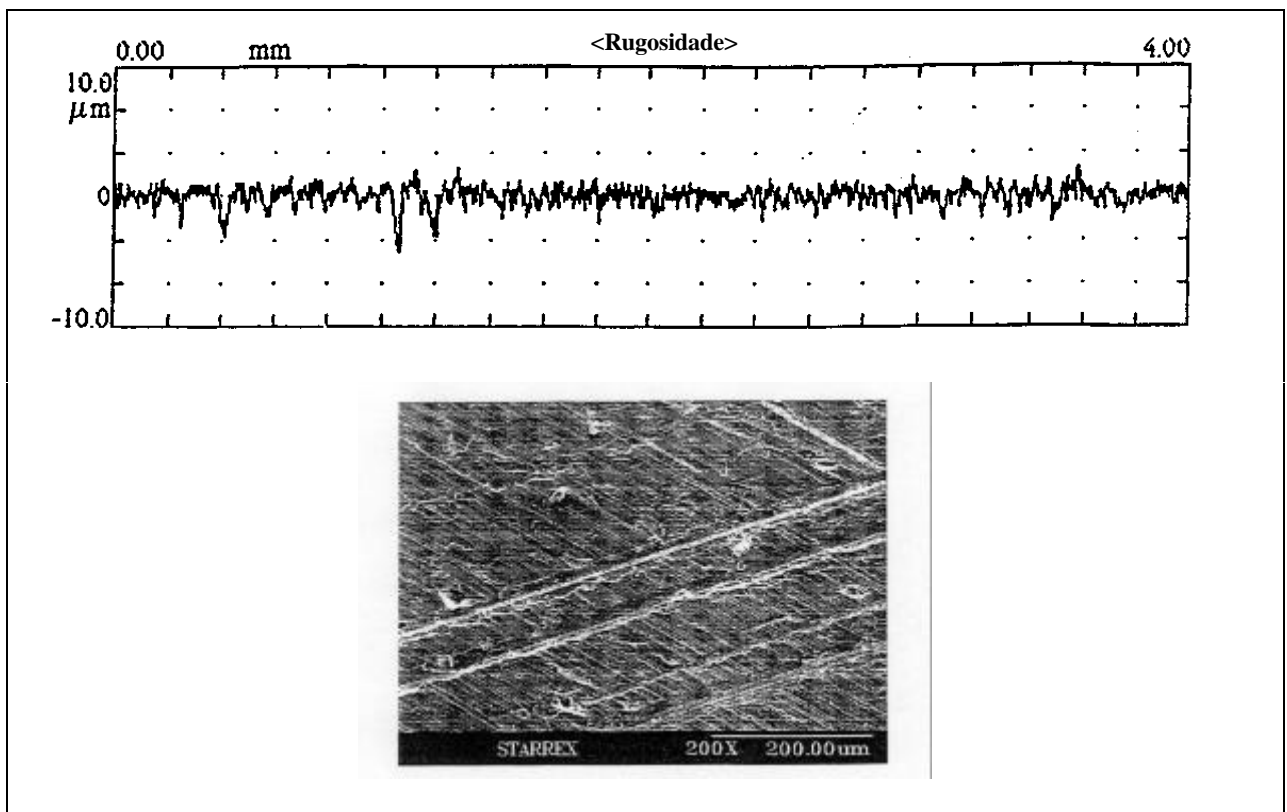


FIGURA 13 – Efeito do fator de escala do rugosímetro

2.2 INTEGRIDADE DA SUPERFÍCIE

O estudo da integridade da superfície abrange os efeitos resultantes do processo de manufatura nas camadas (ou zonas) abaixo da superfície visível, denominada zona de material alterada (AMZ – Altered Material Zones). Tais alterações, de acordo com o Machining Data Handbook (MDC, 1980), podem ser causadas por energia química; térmica; elétrica; mecânica ou uma combinação destas, correndo o risco, ainda, de afetar as propriedades físicas, químicas e metalúrgicas do material.

Pode-se observar, na figura 14, defeitos típicos de processos elétricos ou térmicos de remoção de material, no caso, uma liga Hastelloy aumentada 300 X (Bellows e Kohls apud MDC, 1980).

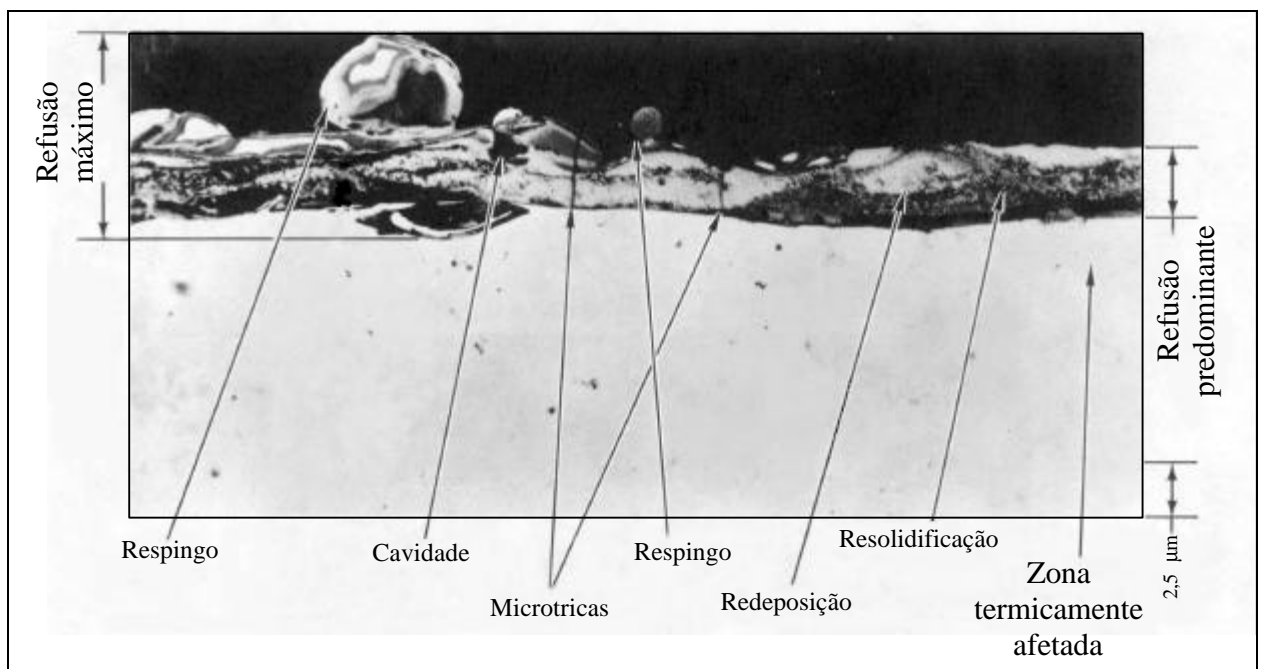


FIGURA 14 – Superfície refundida com tipos de alteração e suas descrições

É importante salientar que estas alterações não são obrigatoriamente indesejáveis. Ao contrário, muitas vezes são propositais e têm o intuito de melhorar alguma propriedade. Um exemplo disso é a indução de tensões residuais compressivas na superfície, o que melhora a resistência à fadiga do componente.

MDC (1980) ainda cita algumas vantagens do uso disciplinado da aplicação de práticas de análise da integridade superficial, como segue:

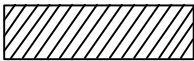
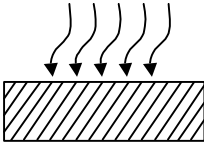
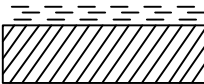
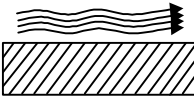

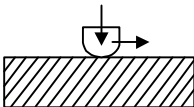
- a) Aumento da confiabilidade e, conseqüentemente, dos custos de manutenção;
- b) Melhor entendimento dos efeitos das variáveis do processo;
- c) Redução de custo, por dedicar-se somente às superfícies exigidas, e não a todo o componente;
- d) Redução do sucateamento e do retrabalho;
- e) Aumento do controle do processo;
- f) Melhor definição da margem de liberdade de fabricação e/ou idealização de projeto;
- g) Referência para outros projetos; e
- h) Maior disciplina na seleção do processo.

2.3 TIPOS DE SOLICITAÇÃO A QUE SÃO SUBMETIDAS AS SUPERFÍCIES TÉCNICAS

Uma superfície pode estar sujeita a uma variedade enorme de tipos de solicitações. Aliás, é muito comum que ela esteja sujeita a mais de um tipo.

O primeiro passo para entender essas solicitações é classificá-las. Os tipos de solicitações são classificados pela norma DIN 4764 e também foram objeto de estudo de trabalhos realizados por Whitehouse (1994) e Weingraber (1989). A norma DIN 50 320 apud Boehs (1992) divide os tipos de solicitações que a superfície técnica sofre em seis grupos, como mostra o quadro 5.

QUADRO 5 – Classificação de superfície técnica segundo sua solicitação

Espécie e funções de superfícies técnicas	Tipos de solicitação na superfície	Modificações e danos na superfície
<p>Todos os tipos de superfícies externas de produtos (superfície decorativa de cobertura, etc.)</p>	<p>Sem solicitação mecânica. Sujeita às ações climática e poluição ambiental.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorção (penetração de substâncias nos interstícios); • Ficam sujas; • Decomposição por ação atmosférica (degradação).
<p>Superfícies sujeitas ao calor, faiscamento, jateamento ou ações elétricas (superfícies de isolamento, contatos elétricos, etc.).</p>	<p>Ficam sujeitas a ações térmicas, faiscamento (ações físicas e ações elétricas).</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidação; • Corrosão; • Passivação. <p>Passivar: Tornar-se inerte.</p> <p>Passividade: Estado de certos materiais que não reagem na presença de agentes oxidantes por terem a superfície recoberta por um filme inativo.</p>
<p>Superfícies em contato com líquidos (reservatórios, componentes de carrocerias, etc.).</p>	<p>Solicitação eletro-química.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão; • Eletrólise (íons se orientam e se descarregam por ação de um campo elétrico).
<p>Superfícies em contato com fluido em movimento (tubulações, pás de turbinas, válvulas, etc.).</p>	<p>Sujeitas as ações das correntes e/ou jatos.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Cavitação; • Corrosão.
<p>Superfícies em contato com microorganismos (lentes de microscópios, pinças, etc.).</p>	<p>Ação biológica.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Danos biológicos.
<p>Superfícies em contato com corpos em movimento (mancais, freios, engrenagens, etc.).</p>	<p>Solicitação tribológica</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Deformações nos pontos de contato; • Desgaste.

Verifica-se que as solicitações cíclicas, apesar de serem críticas em muitos componentes, não se enquadram em nenhum dos itens acima, necessitando acrescentá-las à classificação.

A importância do desempenho da superfície pode ser observada quando se analisam as principais propriedades funcionais dos componentes de uma máquina (Ferraresi, 1977). A seguir, confere-se os itens relacionados com a condição da superfície:

- a) Resistência ao desgaste das superfícies;
- b) Capacidade de carga dos mancais;
- c) Resistência à fadiga das peças;
- d) Tolerância nas medidas das peças;
- e) Tensões de ajuste com interferência das partes acopladas;
- f) Resistência à corrosão das superfícies; e
- g) Grau de acabamento da peça, para permitir que elas sejam cobertas com outros metais.

Convém salientar que os dois primeiros itens estão ligados a solicitações tribológicas, o terceiro a carregamentos cíclicos, o quarto e quinto a condições de ajuste e os dois últimos à corrosão e capacidade de aderir recobrimento.

A seguir, será proposto um breve comentário sobre os três primeiros tipos de solicitações citados acima, considerados pelo autor como os mais importantes para a indústria metal-mecânica.

2.3.1 SOLICITAÇÃO MECÂNICA CÍCLICA

A fadiga é o tipo de falha estrutural causada primariamente pela aplicação repetida de carregamentos variáveis. Estas falhas são localizadas, progressivas e cumulativas, caracterizando-se pela geração e/ou propagação de uma trinca, a qual diminui paulatinamente a resistência da peça, podendo levá-la à fratura. Por isto, o projeto à fadiga é um problema local que depende dos detalhes da geometria, do material e do carregamento do ponto mais solicitado da peça (Castro & Meggiolaro, 1998).

A fadiga é provavelmente uma das maiores causas de falha de um componente mecânico. Rosa & Nicolazzi (1988) salientam que, resultante de uma sollicitação cíclica qualquer (torção, flexão, pressão, térmica e outras), históricos de análise de falhas demonstram que a ocorrência de fadiga inicia-se, preferencialmente, na superfície, ou imediatamente abaixo dela, tornando-se, assim, um fator crítico ao estado geral da superfície. Em muitos casos, observa-se que o efeito da textura na vida do componente é muito menor que o efeito da integridade, como mostra a figura 15, que relaciona rugosidade (R_a), tensão residual e limite de tensão à fadiga em corpos de Iconel 718 (tratado em solução aquosa e envelhecido, 44Rc) ⁴.

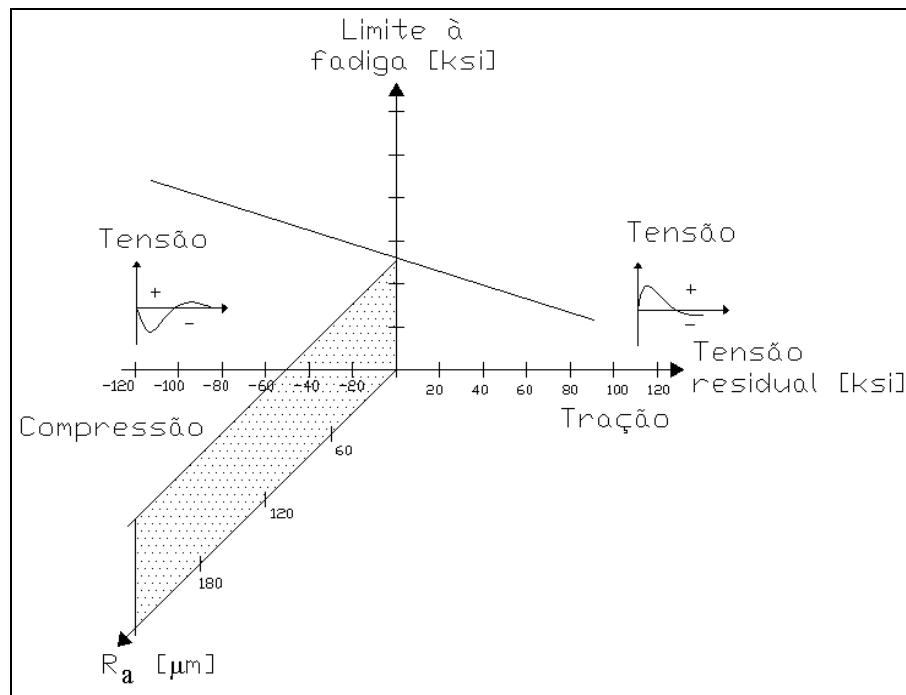


FIGURA 15 - Relação entre rugosidade (R_a), tensão residual e limite de tensão à fadiga

(MDC, 1980)

O principal parâmetro gerador de trincas por fadiga é a gama das tensões $\Delta\sigma$ (ou das deformações $\Delta\varepsilon$) atuantes no ponto crítico. Por isso, as trincas geralmente partem das raízes de

⁴ G. Bellows e W. P. Koster apud Machining Data Handbook (MDC, 1980).

entalhes concentradores de tensão. Quando as solicitações cíclicas locais são baixas em relação à resistência ao escoamento, o processo é muito influenciado pelos detalhes do acabamento superficial, do gradiente das tensões atuantes (incluindo as tensões residuais) e das propriedades mecânicas. Nestes casos, a resistência à iniciação de uma trinca por fadiga tende a aumentar com a resistência à ruptura, com a melhoria do acabamento superficial, com o aumento do gradiente de tensões e com a presença de tensões residuais compressivas. Entretanto, Castro & Meggiolaro (1998) enfatizam que, à medida que as cargas alternadas aumentam, o escoamento cíclico localizado torna estes detalhes superficiais cada vez menos importantes e a ductilidade passa a ser o principal parâmetro controlador da resistência à geração da trinca.

Atualmente, existem vários *softwares* de cálculo de fadiga e mecânica da fratura. Um destes é o ViDa 99⁵ (figura 16), que é um *software* indicado para calcular o dano de fadiga causado por carregamentos complexos, incluindo os métodos tradicionais de projeto à fadiga, e introduzindo uma série de melhorias para aumentar a velocidade e a precisão dos resultados numéricos.

O tratamento do *software* em relação ao acabamento da superfície é realizado da forma tradicional, isto é: baseado no processo de fabricação do componente obtém-se o ka^6 , exatamente como se fazia utilizando gráficos, só que neste caso é automatizado. O projetista não tem como distinguir uma superfície retificada com R_a de 1,80 de uma com R_a de 0,60, que certamente passou por uma usinagem bem mais branda, podendo até resultar em tensões residuais compressivas.

⁵ ViDa é uma marca registrada ViDa Inc.

⁶ ka é o fator de concentração de tensões pela condição da superfície.

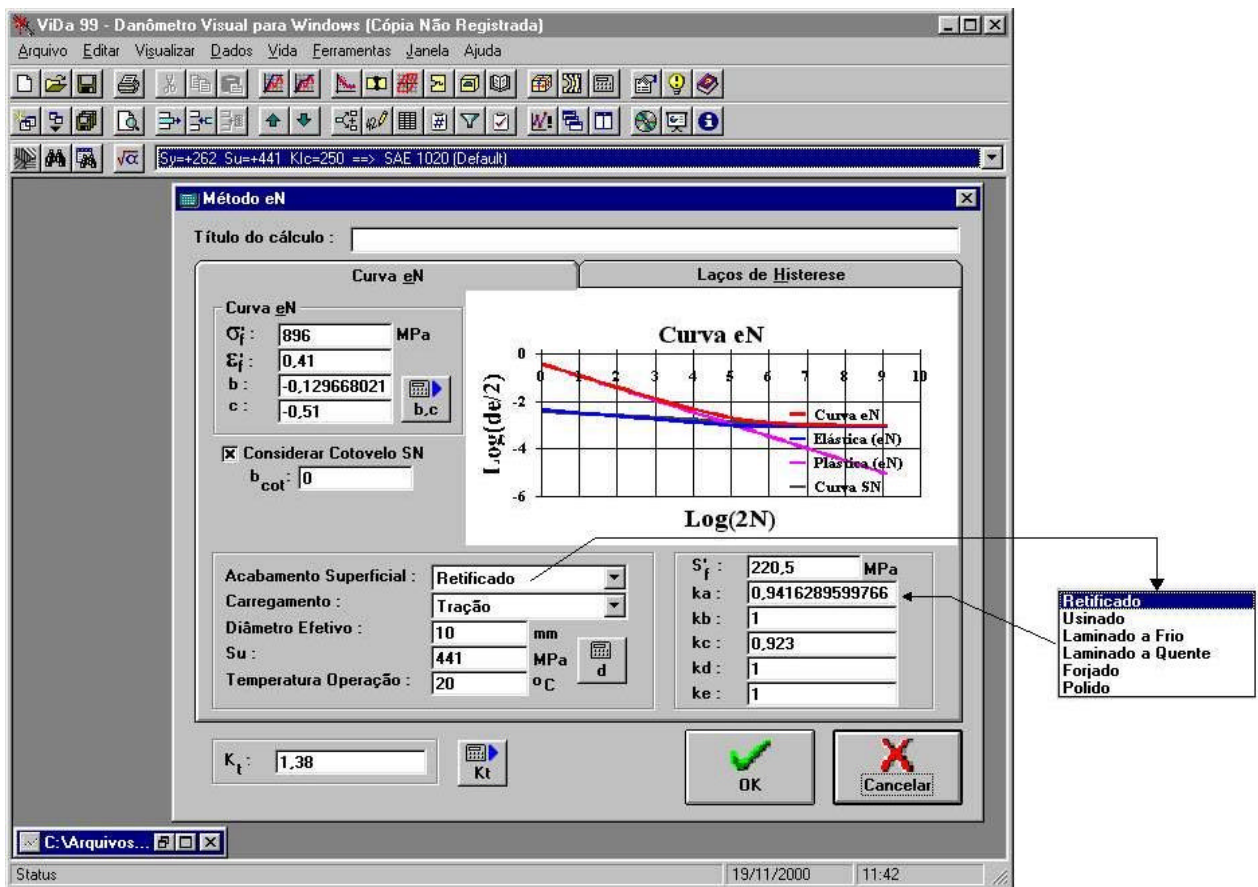


FIGURA 16 – ViDa 99 – Software para cálculo de fadiga

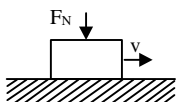
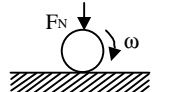
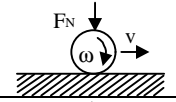
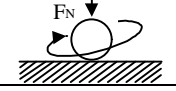
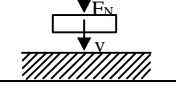
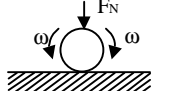
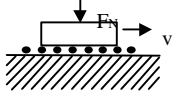
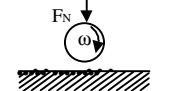
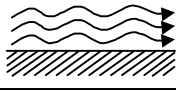

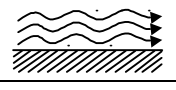
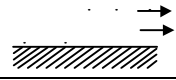
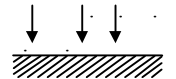

O fato é que isso não seria possível, pois não existe uma correlação bem definida entre o estado da superfície e a resistência à fadiga. Isso significa que para se ter uma estimativa mais confiável, seria necessário um banco de dados com as várias combinações possíveis de material, geometria, textura e integridade.

2.3.2 SOLICITAÇÃO TRIBOLÓGICA

As solicitações tribológicas são aquelas presentes quando existe movimento relativo entre as superfícies dos corpos. Weingraber (1989) classifica as solicitações tribológicas considerando, por exemplo, o contato entre corpo sólido e fluido, o que pode ser observado no quadro 6.

QUADRO 6 – Comparação do processo de desgaste pelo tipo de sollicitação tribológica

(Weingraber, 1989)

Estrutura do sistema	Esquema	Sollicitação tribológica	Adesão	Abrasão	Ruptura da superfície	Reação tribo-Química
Corpo/Corpo (com ou sem lubrificante)		Deslizamento	.	.	.	.
		Rolamento puro	.	.	.	.
		Rolamento com deslizamento	.	.	.	.
		Perfuração	.	.	.	.
		Choque e ricochete	.	.	.	.
		Oscilação	.	.	.	.
Corpo / Corpo com grãos		Deslizamento sobre grãos		.		
		Rolamento sobre grãos		.		
Corpo/Fluido		Cavitação			.	.
		Golpe de fluido			.	.
Corpo/Líquido com partículas		Erosão		.	.	.
Corpo/gás com partículas		Jato deslizante		.	.	.
		Jato penetrante		.	.	.
		Jato oblíquo		.	.	.

Os tipos de solicitações listados acima podem afetar a superfície de várias formas, em processos como erosão, cavitação, deslizamento, etc. Este último será melhor descrito neste item, pois foi considerado o mais relevante, além de coincidir com o fato de a metodologia proposta por Mesquita (1992) ter sido desenvolvida baseada em uma superfície lubrificada de deslizamento.

Mesquita (1992) lista seis características que uma superfície lubrificada de deslizamento deveria apresentar. São elas as capacidades de:

- I. Suportar carga;
- II. Amortecer o desgaste inicial;
- III. Deslizar;
- IV. Reter o lubrificante;
- V. Dissipar calor;
- VI. Resistir ao desgaste.

Propõe, assim, a seguinte textura para atender essas características funcionais:

- I. Superfície platafórmica com grande área de contato;
- II. Pequena região de elevações com picos arredondados;
- III. Grande região de reentrâncias;
- IV. Pequeno ângulo de declive;
- V. Superfície dependente da direção.

Tradicionalmente, a satisfação destes itens acima mencionados tem tido ênfase em superfície de camisa de pistões. Estes componentes são submetidos a uma seqüência de operações de brunimento, sendo que a última delas tem como objetivo a remoção de picos da textura da superfície.

Tratamento similar é dado às superfícies de mancais, que são lapidados. No entanto, a avaliação das superfícies brunidas leva em consideração a capacidade de suporte do perfil. Em vista disso, medem-se parâmetros como t_p , também conhecido por *plateau honing*, enquanto na superfície de mancais usualmente atenta-se apenas ao desvio geométrico da textura.

Contudo, Conway-Jones e Eastham (1995) analisam a textura de mancais, mais especificamente em virabrequins, e propõem um novo parâmetro que visa garantir um filme de óleo mínimo, como será tratado a seguir.

a) Considerações sobre o filme mínimo de óleo

A transição de atrito viscoso para atrito mecânico é usualmente expressada pelo índice λ :

$$\lambda = h_{\min} / (e_s + e_b), \quad (1)$$

onde: h_{\min} é a espessura mínima do filme de óleo, e_s é a rugosidade do eixo e e_b a do mancal. De acordo com Conway-Jones e Eastham (1995), quando os valores de rugosidade são estimados pelo parâmetro R_q , λ deve ser superior a 2,5.

Usualmente, o que se vem fazendo é determinar em uma espessura de óleo mínima, baseando-se nesta formulação anterior para especificar a textura da superfície, no caso através do parâmetro R_q .

b) Apresentação do parâmetro $3\sigma_{50}$ para superfície de mancais

Os autores propõem um novo parâmetro que indique a espessura mínima do filme de óleo: o $3\sigma_{50}$, que pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$3\sigma_{50} = t_p(13\%) - t_p(50\%) \quad (2)$$

c) **Análise da superfície de um mancal**

O uso de R_a ou R_q tem se mostrado satisfatório para superfícies retificadas com curva de distribuição de amplitude próxima à curva de Gauss. No entanto, muitas superfícies técnicas têm os picos removidos por operações de acabamento, como lapidação, resultando em uma distribuição de amplitude com Skewness (figura 17) tanto positiva quanto negativa (Conway-Jones e Eastham, 1995). Para essas situações, indicadores como R_a ou R_q não são representativos, sendo necessário que o uso de parâmetros leve em consideração esse desvio.

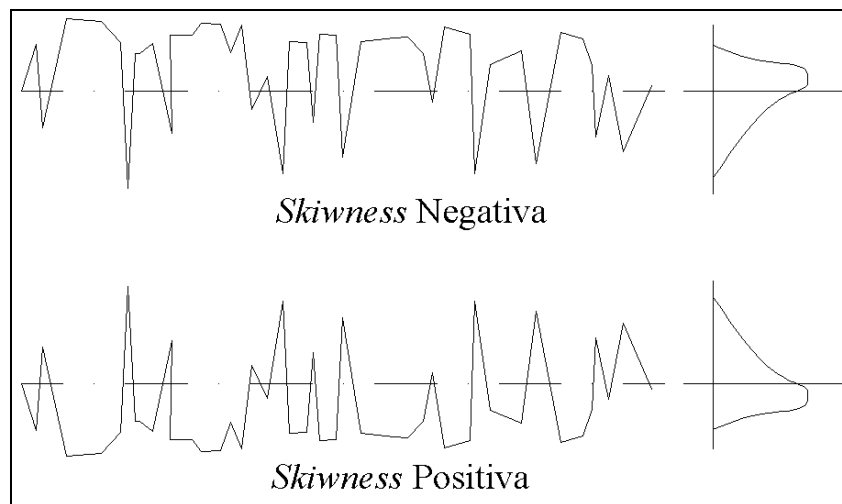


FIGURA 17 – Skivness (Bet, 2000)

Para exemplificar a diferença do novo parâmetro, Conway-Jones e Eastham (1995) comparam R_q , R_a com $3\sigma_{50}$ após a retífica de acabamento, a primeira e a segunda lapidação em um virabrequim de ferro fundido nodular, como mostra o quadro 7.

QUADRO 7 – Textura após a retífica de acabamento, a primeira e a segunda lapidação

Processo	R_q	R_a	R_{sk}	$3\sigma_{50}$
Retífica	0,56	0,45	-0,06	1,502
1ª Lapidação	0,19	0,24	0,34	0,986
2ª Lapidação	0,12	0,17	-2,06	0,280

Baseando-se nos parâmetros R_a e R_q , a diferença entre a primeira e a segunda lapidação não é tão acentuada. No entanto, espera-se que, após a 2^a lapidação, o componente tenha um desempenho melhor, pois ele garante que haverá apenas atrito viscoso para filmes de óleo menores, uma vez que o $3\sigma_{50}$ é bem menor.

2.3.3 SOLICITAÇÃO DEVIDO A AJUSTES COM OU SEM INTERFERÊNCIA

As dispersões naturais do processo de fabricação exigiram que fossem tomadas medidas para garantir que a interação entre duas ou mais peças estivesse dentro do desejado. Assim, passou a ser necessário não só o valor nominal, mas também que se determinasse uma faixa na qual se poderia encontrar a medida desejada.

a) Tolerância (Faires, 1983)

Denomina-se tolerância como “a variação estabelecida e permitida de uma peça” (ABNT, 1961). Quando, segundo uma certa dimensão, uma peça deve ajustar-se, interna ou externamente em uma outra, como um pino em um furo, esta variação permissível ou tolerância cresce em importância. Se nenhuma ajustagem deve ser realizada, é imprudente e antieconômico insistir-se para que a dimensão da peça pronta seja muito próxima da dimensão nominal.

Para se saber qual tolerância deve ser usada, recorre-se às recomendações da ISA, que define um padrão para a caracterização deste item.

Os caracteres alfanuméricos (Niemann, 1978) especificam a posição da zona de tolerância com referência à linha zero (linha nominal); letras pequenas para eixos (dimensões externas) e letra maiúscula para furo (dimensões internas). Para o furo base (letra H) e para eixos base (letra h), o menor desvio é zero.

O número de 1 a 16 indica o grau ISA, onde D está em “mm”:

$$i = 0.45\sqrt[3]{D} + 0.001D \quad (3)$$

O quadro 8 mostra a tolerância para várias qualidades ISA.

QUADRO 8 – Tolerância ISA - Classe 5 a 11 em 1/1000 mm DIN 7151(DIN, 1970)

Classe ISA		5	6	7	8	9	10	11	
Unidade de tolerância.		7.i	10.i	16.i	25.i	40.i	64.i	100.i	
D	N	1 - 3 mm	5	7	9	14	25	40	60
I	O	3 - 6 mm	5	8	12	18	30	48	75
Â	M	6 - 10mm	6	9	15	22	36	58	90
M	I	10 - 18mm	8	11	18	27	43	70	90
E	N	18 - 30mm	9	13	21	33	52	84	110
T	A	30 - 50mm	11	16	25	39	62	100	130
R	L	50 - 80mm	13	19	30	46	74	120	160
O		80 - 120mm	15	22	35	54	84	140	190

A tolerância de uma cota pode ser bilateral quando a dimensão da peça pronta puder ser maior ou menor do que a dimensão nominal, ou unilateral quando a dimensão da peça pronta puder ser apenas maior ou apenas menor do que a dimensão nominal.

b) Variação natural das dimensões

Uma vez determinada a tolerância (T), deve-se, então, verificar as condições do processo de fabricação dessas peças. As dispersões desse processo devem possibilitar que as tolerâncias possam ser facilmente obtidas.

Define-se **desvio ou dispersões naturais (DN)** como sendo a faixa provável de se encontrar a medida em relação à média (Faires, 1983). Desta forma, a dispersão natural é um parâmetro estatístico e é um múltiplo do desvio-padrão σ . Usualmente, utiliza-se o valor $\pm 3\sigma$ (o que garante 99.73% de probabilidade) como DN, mas outros valores também são usados, como 5 σ , por exemplo.

Outro parâmetro muito usado para constatar se o processo está adequado às tolerâncias é o CPK e suas variantes CP, CPU e CPI (Kume, 1985). Definindo-se:

$$CP = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad e \quad (4)$$

$$CPK = \min\left(\frac{LSE - X}{3s}, \frac{X - LSI}{3s}\right), \quad (5)$$

onde: X é a média do processo, LSE são os Limites Superior e Inferior de Especificação.

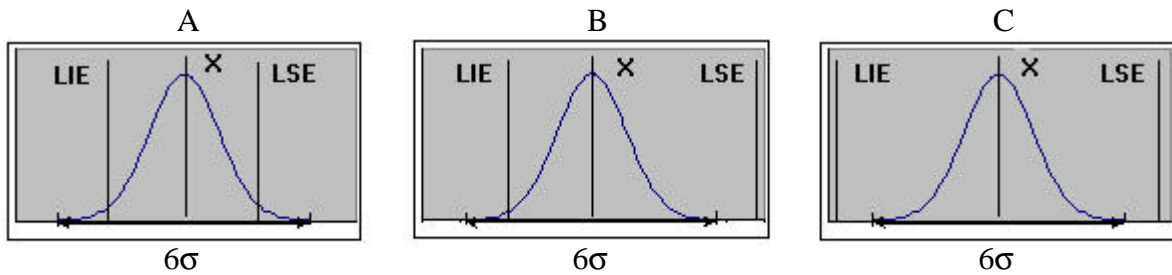


FIGURA 18 – Dispersão natural e tolerância

Assim, tem-se três situações possíveis:

- I. $T < DN$ – Nesta situação, produzir-se-ão peças defeituosas (figura 18A). Esse problema pode ser minimizado se a média do processo coincidir com o valor central da faixa de tolerância ($CP < 1$ e $CPK < 1$);
- II. $T = DM$ – Se a produção estiver centrada na faixa de tolerância não se esperaria nenhuma peça fora de especificação ($CP = 1$ e $CPK = 1$). No entanto, é muito difícil ter a média da produção exatamente no centro da faixa de tolerância (figura 18B), havendo, portanto, a ocorrência de algumas peças não conformes ($CP = 1$ e $CPK < 1$); e
- III. $T > DM$ – Neste caso, não se espera nenhuma peça não conforme (figura 18C), salvo se a produção estiver bastante deslocada ($CP > 1$ e $CPK < 1$). Idealmente, CPK deveria ser maior ou igual a 1,33.

c) **Classes de tolerância dimensional e rugosidade**

Segundo Weingraber (1989), alguns autores consideram um erro correlacionar textura com função e propõem que sempre se trabalhe com a dualidade textura – tolerância, pois em

alguns casos, Bet (2000) salienta que não é possível fazer uma distinção clara entre as duas grandezas.

Weingraber (1989) propõe, ainda, uma tabela para tal correlação. Mas adverte que esta deve ser usada com cautela, pois não há uma relação clara entre os dois fatores (quadro 9).

QUADRO 9 – Valores máximos de R_y para garantir a tolerância dimensional

Dimensão nominal (mm)	Valores máximos permissíveis para R_y (mm)						
	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11
até 3		2,5		4			16
> 3 até 6	2,5		4		8	16	
> 6 até 10				8			
> 10 até 18		4					32
> 18 até 30					16		
> 30 até 50			8			32	63

Deste modo, pode-se obter um valor de referência para um determinado projeto, o que, de acordo com Bet (2000), não é a prática usual no meio industrial e, muitas vezes, acaba-se sendo rígido demais na especificação, por medida de segurança.

d) Ajuste e rugosidade

A influência da textura em um ajuste pode ser ilustrada pela figura 19.

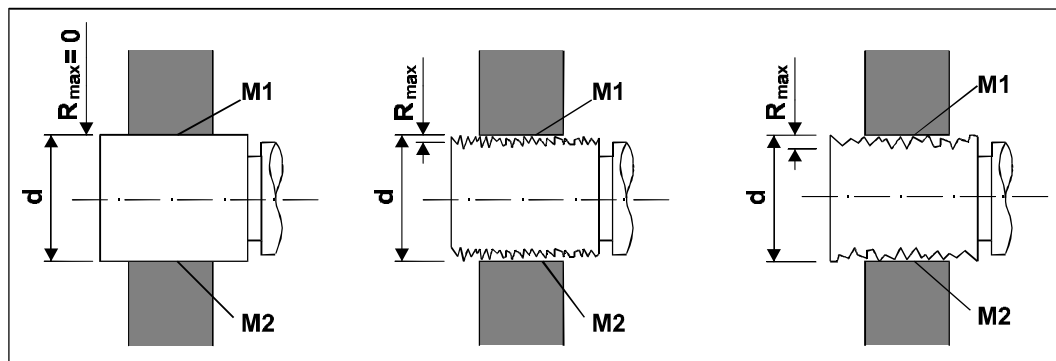


FIGURA 19 – Três eixos de mesmo diâmetro com texturas diferentes

(Weingraber, 1989)

Observe-se que as superfícies M1 e M2 tocam os eixos de tal forma que se identifica o mesmo diâmetro. Assim, os três eixos são considerados bons, apesar de nem todos terem uma rugosidade $R_{m\acute{a}x}$ suficiente para o caráter de suporte requerido.

A rugosidade, então, pode atuar de duas formas, de acordo com Weingraber (1989):

- a) Alterando a resistência do acoplamento no caso de ser um ajuste por interferência; e
- b) Aumentando a folga no caso de ajuste deslizante.

Desta forma, fica evidenciado que se devem dar tratamentos distintos para os ajustes com folga ou por interferência.

e) **Ajuste deslizante**

A textura, nestes tipos de acoplamento, é um fator de grande influência, sendo objeto de estudo de inúmeras pesquisas, principalmente no campo de tribologia, no qual o desgaste é o fator determinante.

A figura a seguir mostra duas superfícies com diferentes capacidades de suporte. Note-se que a primeira terá um desgaste inferior à outra, pois tem maior capacidade de suporte.

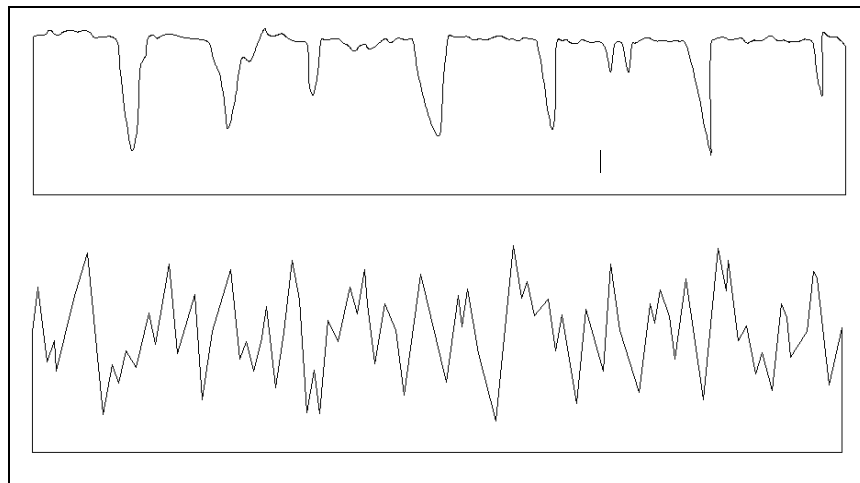


FIGURA 20 – Superfícies de capacidade de suporte diferentes

f) Ajuste por interferência

Um acoplamento por interferência pode produzir uniões sólidas e seguras. É recomendado principalmente para peças girantes que suportam solicitações alternantes, de acordo com Dobrovolsky (1980).

Pode-se classificar os ajustes por pressão em duas grandes classes, segundo Dobrovolsky (1980).

- I. Ajustes auxiliados por um terceiro elemento – onde um elemento auxiliar (um colar de aperto, por exemplo) é responsável pela pressão de montagem; e
- II. Ajustes com interferência entre as peças a serem montadas – são os ajustes em que uma folga negativa assegura a pressão de aperto. São também referenciados como ajustes prensados.

Este último grupo pode ser subdividido em outras três categorias, segundo Agostinho (1977), Weingraber (1989) e DIN 7190 (DIN, 1970):

- I. Ajuste transversal: no qual se aquece a peça fêmea até atingir um diâmetro interno suficiente para a montagem; ou pelo resfriamento do macho, ou ainda pelos dois efeitos combinados;
- II. Ajuste longitudinal: no qual se pressiona uma peça em relação à outra de tal forma que a deformação do material permita o acoplamento; e
- III. Ajuste longitudinal-transversal: no qual ocorre uma combinação dos itens anteriores.

g) Influência do acabamento superficial

A rugosidade da superfície é um fator determinante para a resistência mecânica da união, de acordo com Orlov (1985).

O fato é que, mesmo quando não se supera o limite elástico da peça em sua totalidade, ocorrerão micro-alterações na superfície. Estas alterações são deformações plásticas das partes

mais protuberantes, o que fatalmente depende da textura da peça. Nos ajustes transversais atuam forças normais às duas superfícies em contato. Estas, então, terão, conforme salienta Weingraber (1989), os picos de rugosidade plastificados na direção de que as superfícies se “engrenem”. Já nos ajustes longitudinais, as forças de montagem achatam os picos, resultando em uma superfície relativamente lisa.

Na figura 21, Weingraber (1989) mostra a perda de sobremedida causada pela rugosidade, propondo que esta seja:

$$\Delta_R = 2.(R_{pe} + R_{pv}), \quad (6)$$

onde: R_{pv} e R_{pe} são as profundidade de alisamento das peças externa e interna.

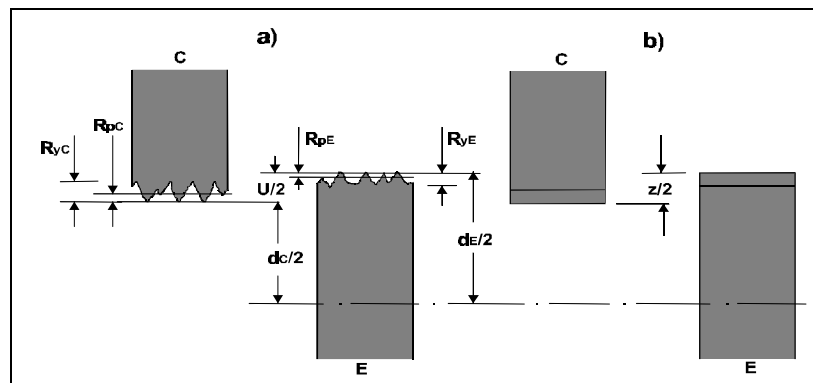


FIGURA 21 – Variação na sobremedida pela rugosidade (Weingraber, 1989)

Porém, se ao invés de usar R_p usar-se R_t (profundidade total), deve-se substituir R_p por $k.R_t$, sendo k uma constante. Schmalz e Biederstedt apud Weingraber (1989), sugerem $k=0,6$ e $k=0,4$, respectivamente. Dobrovolsky (1980) também recomenda $k=0,6$, que é o indicado na norma DIN 7190 (DIN, 1970), enquanto Orlov (1985) sugere um valor intermediário $k=0,5$.

Já Niemann (1978) oferece dois valores experimentais obtidos por Wassileff, onde $D_R \approx 0,7.10^{-3}$ ou 7.10^{-3} mm para torneamento com $0,07$ ou $0,22$ mm/rpm de avanço.

Weingraber (1989) inclui ainda um terceiro fator que influencia nas forças de fixação, o qual seria uma fina camada óxida, desprezível para o cálculo da sobremedida, mas que elevaria as forças de união (Wenck apud Weingraber, 1989).

2.4 ETAPAS DA CADEIA PRODUTIVA DE UMA SUPERFÍCIE TÉCNICA

Com a crescente necessidade de melhor servir aos clientes, as empresas esbarraram no conhecimento relativamente escasso das variáveis de seus produtos. A consideração de todas essas variáveis que agem sobre o produto, desde a sua concepção até o seu descarte, tornou-se essencial para melhor compreender a “vida” de um determinado produto. A cadeia de valor de um componente acaba enfrentando problemas, como por exemplo, a necessidade de acabar com freqüentes atrasos oriundos da falta de comunicação entre as equipes de venda, projeto, manufatura, etc., que resultam em grande prejuízo para as empresas.

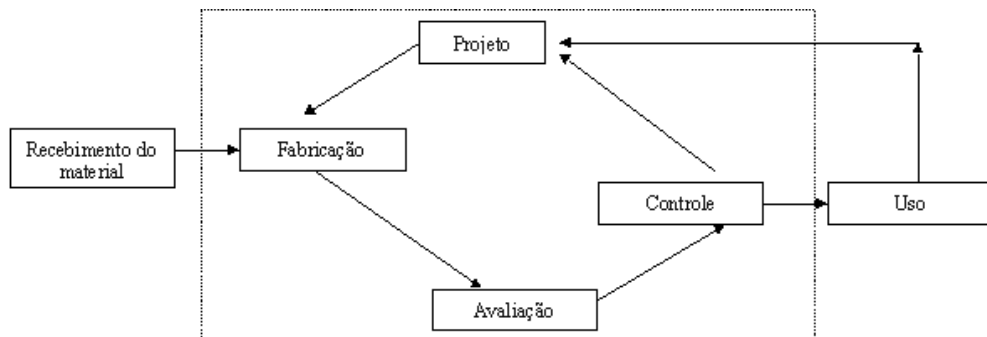


FIGURA 22 – Cadeia de valor de uma superfície técnica

A figura 22 mostra a cadeia de valor de uma superfície técnica. É imprescindível que exista uma comunicação eficiente entre as várias fases da cadeia, pois, caso contrário, corre-se o risco de um produto não ter o desempenho esperado. Com este objetivo, foram desenvolvidas ferramentas como Engenharia Simultânea, Projeto de Ciclo de Vida, Qualidade Total, CRM (Customer Relationship Management), etc.

Uma filosofia interessante para avaliar o impacto que a cadeia de um produto tem na sociedade é a *função perda*. Isto porque esta função leva em consideração o desejo do consumidor de adquirir produtos baratos e duradouros e o desejo do fabricante em produzir com baixo custo.

A perda, para a sociedade, é formada pelos custos incorridos no processo de produção, assim como os custos acarretados aos consumidores no decorrer da vida útil do produto (reparos, perdas de negócios, etc.), conforme assinala Ross (1991).

A filosofia da *função perda* é produzir o mais próximo do ideal, isto é, com o menor custo para a sociedade. Por exemplo, se o valor máximo de um diâmetro é 40 mm, uma peça com uma medida de 39,99 será considerada boa comparada a outra com medida de 40,01. Afinal, quão pior é a segunda peça em relação à primeira? A *função perda* procura estimar estas diferenças e orienta para que se produza o mais uniformemente possível.

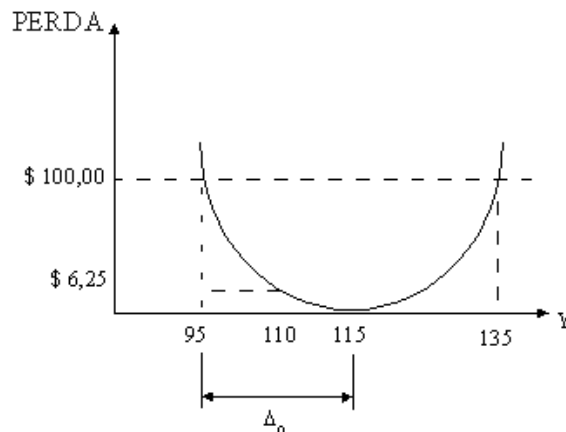


FIGURA 23 – Nominal - o - Melhor

No exemplo acima, a situação ideal é a nominal (Nominal-o-Melhor). Desta forma, a menor perda para a sociedade ocorre no valor nominal da peça.

Assim, se a qualidade do produto é inferior, alguém vai pagar este valor. E isso manifestar-se-á de diversas maneiras, como na insatisfação do cliente, no aumento dos custos da

garantia, no tempo e dinheiro do cliente, na má reputação do produto, na perda futura do mercado, etc. Por isso, defende-se a idéia que o projeto deve contemplar a condição mais adequada e sua fabricação, avaliação e controle devem ser coerentes com o projeto.

A seguir, são apresentados alguns comentários sobre essas etapas.

2.4.1 DEFINIÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DA SUPERFÍCIE DESEJADA

Entende-se por definição de superfície desejada o delineamento qualitativo desta, sem quantificar nenhum parâmetro. Então, a definição da superfície desejada restringe-se a indicar se ela deve ser platafórmica, apresentar ou não vales profundos, etc., deixando a quantificação para ser feita na especificação.

A definição da superfície desejada é uma das partes mais complexas a serem desenvolvidas. Esta etapa deve estar fundamentada na elaboração do projeto do componente, o que implica em definir uma superfície que satisfaça as exigências de desempenho desse componente pelo menor custo.

Nota-se que a partir do momento em que se conhece as características funcionais que a superfície deve apresentar, já se pode definir a superfície desejada. No entanto, Mesquita (1992) adverte que a relação entre as propriedades geométricas da superfície e a qualidade funcional ainda não está clara, pois, segundo Bet (2000), seria necessário conhecer detalhadamente a influência de cada tipo de microgeometria sobre as características do funcionamento do componente. Além do mais, é improvável que este componente trabalhe em uma única condição de operação (velocidade, carregamento, etc.), o que resultaria, de acordo com Whitehouse (1994), em uma infinidade de combinações possíveis de textura, defeitos superficiais e solicitações, inviabilizando uma relação direta entre função e textura, sem levar em consideração a integridade superficial, que seria um outro agravante. Por todos estes motivos, optou-se por designar esta superfície como *superfície desejada*, e não *ideal*, como se encontra usualmente na

bibliografia especializada, uma vez que é improvável que se alcance uma situação ótima, ou ideal.

Apesar de ainda não estar clara a correlação entre geometria da superfície e qualidade funcional e, portanto, não se poder dizer qual é exatamente a superfície mais indicada para uma determinada solicitação, é possível apresentar uma dependência entre fatores, como a presença de trincas (defeitos superficiais) com resistência à fadiga, a capacidade de reter lubrificante com direção das raias ou com densidade de vales no perfil de textura, entre outros. Uma forma de determinar dependências entre fatores de caracterização de textura e características funcionais é através do perfil de textura, classificado pela norma DIN 4761 (DIN, 1978). A classificação dos tipos de textura e defeitos superficiais, proposta pela norma, é interessante não somente para a especificação da geometria desejada para a superfície, como também para a seleção do processo de fabricação, feita exatamente com base nas marcas que os processos produzem.

Outro ponto importante para a definição e posterior especificação das superfícies técnicas é o estudo da integridade das superfícies. Embora todos os processos de fabricação possam causar efeitos significativos no material do componente, o estudo de integridade nas superfícies técnicas é um requisito adicional (MDC, 1980). Isto porque tal estudo acarreta um aumento do custo do produto, devendo ser levado em consideração somente quando existir um problema ou a possibilidade de sua ocorrência. Um exemplo típico de situação que exige controle de defeitos é o das superfícies solicitadas por carregamento dinâmico.

Apesar de ser aconselhável a definição prévia da especificação da superfície, esta não é a prática mais comum; em geral, o projetista passa direto à escolha dos indicadores e de seus valores. Neste ponto, ele depara-se com um grande problema: qual o parâmetro que deve ser utilizado para a especificação da superfície?

Com relação à textura, podem ocorrer duas situações distintas: na primeira, a textura que se deseja especificar é inédita ou, pelo menos, não se tem acesso a especificações similares já existentes. Neste caso, recomenda-se que se utilizem bibliografias para levantar as características que a textura deve apresentar. Pode-se, inclusive, fazer uso de metodologias como a de Mesquita (1992).

Entretanto, na tentativa de descrever adequadamente o perfil de uma superfície, Mesquita (1992) sublinha que criaram-se inúmeros parâmetros e funções estatísticas de correlações. Tabenkin (1997) afirma existir mais de 100 parâmetros de textura, sendo que muitos deles são similares, como R_a e R_q e outros, simplesmente inúteis. Esta quantidade exagerada de parâmetros de textura acaba tendo o efeito contrário ao desejado pelo pesquisador, ou seja, este depara-se com a existência de tantos parâmetros que dificulta ainda mais a caracterização do perfil de textura.

Stauffer e Mathias apud Mesquita (1992) determinaram seis parâmetros que possibilitariam especificar quaisquer perfis.

- I. R_q - desvio médio quadrático;
- II. R_z - profundidade média de rugosidade;
- III. S_k - coeficiente de simetria da curva de distribuição de amplitude;
- IV. K_u - curtose da mesma curva;
- V. S_m - distância média das irregularidades do perfil;
- VI. S_{rms} - desvio das distância das irregularidades do perfil.

Já Whitehouse (1978) recomenda a especificação de um perfil através do uso de duas funções: a curva de distribuição de amplitude (APDF, também denominada ADK) e a função auto-correlação (ACF). A curva APDF contém as informações sobre a amplitude (vertical) do

perfil e a função auto-correlação traz informações sobre o espaçamento (horizontal) do perfil, como mostra a figura 24.

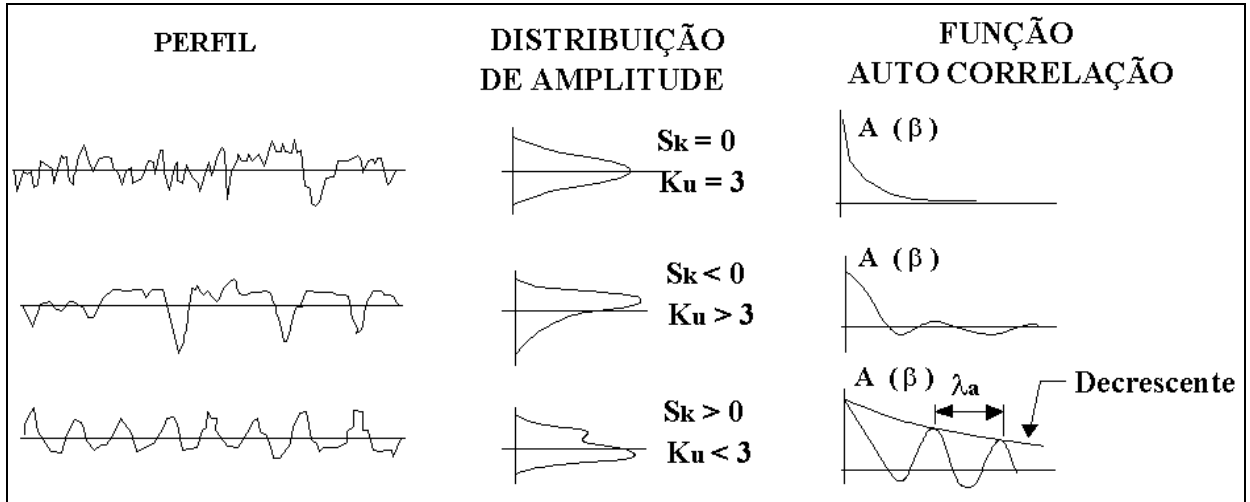


FIGURA 24 - Exemplo de perfil com curva ADK e função auto-correlação (Whitehouse, 1978)

Na segunda situação, já foram identificadas especificações de superfícies com as mesmas características que as do componente em questão. Nesta circunstância, é necessário que o pesquisador certifique-se das diferenças entre as duas texturas, a já existente e a que se quer especificar, para garantir que a especificação não se fundamentará numa situação não coincidente. Outro ponto importante é a averiguação das condições com que a textura do componente conhecido foi avaliada, para então proceder da mesma forma com a textura a ser especificada. Caso isso não seja possível, é recomendado que se adapte a condição preexistente para a nova realidade metrológica da empresa. Assim, se a textura já conhecida estava sendo avaliada com microscópio por interferometria e o equipamento disponível para se fazer as medições é um rugosímetro portátil, deve-se averiguar a consistência da extrapolação para a situação presente.

Outra situação desejável é que a especificação da textura contemple o processo de fabricação pelo qual o componente deve passar. Nesse sentido, seria mais interessante se o

projetista trabalhasse em conjunto com o processista. A razão para se especificar o processo de obtenção da superfície é que, dependendo da especificação da textura, pode-se obtê-la através de vários processos, fazendo com que tenha características diferentes. Um exemplo desta situação é a especificação da textura de camisas de pistão, a qual deve ser feita por brunimento. Provavelmente, poder-se-ia alcançar os valores dos parâmetros de especificação por uma retífica fina, no entanto, o desempenho dos componentes fabricados pelos dois processos seria bastante diferente. Isso aconteceria porque a superfície brunida tem características distintas da retificadas, tais como raias cruzadas, que não se conseguem obter através deste último processo. Uma solução alternativa seria especificar o tipo de textura que a superfície deve apresentar, de acordo com as normas ISO DIN 1302 (DIN, 1992); NBR 8404 (ABNT, 1984); e DIN 4761 (DIN, 1978), citadas nos itens 2.1.

Independentemente da superfície com que o projetista se depara, é interessante que ele consiga visualizar a textura do componente que está especificando. A norma NF E 05-018 (AFNOR, 1969), por exemplo, recomenda que, ao se especificar uma superfície, tenha-se em mãos padrões tácteis – visuais, também conhecidos como rugotestes. Estes padrões de comparação podem ser comprados ou até confeccionados nas próprias instalações das fábricas, obedecendo normas específicas DIN 4769 (DIN 4769/1, 1972a; DIN 4769/2, 1972b e DIN 4769/3, 1972c); ISO 2632 (ISO 2632/1, 1975; ISO 2632/2, 1977 e ISO 2632/3, 1979), dentre outras, que podem facilitar o entendimento de como a superfície vai se comportar quando exercidas as solicitações esperadas pelo componente.

Após a especificação da superfície, deve-se representá-la no projeto. Para tanto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) editou a NBR 8404 (ABNT, 1984), coerente com as normas internacionais como DIN ISO 1302 (DIN, 1992) e ASME Y 14.36 (ASME, 1996), que apresenta as informações necessárias para a representação da textura em projetos.

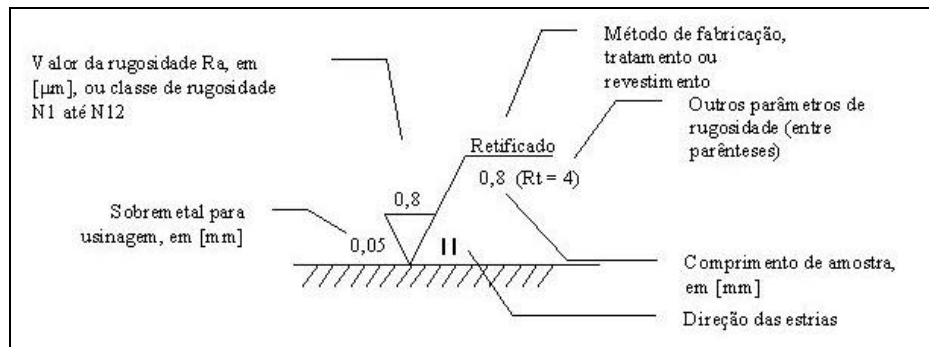


FIGURA 25 - Exemplo de representação de textura em projeto

Verifica-se que a simbologia adotada pela ABNT permite que se especifiquem não só os parâmetros de rugosidade, mas também outros itens, como o processo de fabricação a ser submetido tal superfície, o comprimento de amostragem (ver NBR 6405), o sobremetal para a usinagem e a direção das estrias.

2.4.2 FABRICAÇÃO

No princípio do item 2.1, foi mencionado que a norma DIN 4761 (DIN, 1978) caracteriza os tipos de superfície e indica os processos de fabricação que podem produzi-la. Além de determinar as características da textura, o processo de fabricação também funciona como um fator de restrição, haja vista que cada processo tem uma faixa característica de textura que é capaz de produzir. Esta faixa característica é o tema da norma DIN 4766, que correlaciona vários processos de fabricação com o parâmetro R_a , na primeira parte da norma (DIN, 1981a), e com o parâmetro R_z , na segunda parte (DIN, 1981b).

Outro fator determinante na escolha do processo de fabricação são os efeitos de integridade da superfície. Conforme observado no item 2.2, o processamento pode causar efeitos adversos na superfície, podendo ser desejável ou não. O Machining Data Handbook (MDC, 1980) correlaciona vários tipos de efeitos com processos de fabricação capazes de produzi-los, tornando-se muito útil na decisão de como fabricar uma determinada superfície.

No item anterior, verificou-se a possibilidade de se especificar o processo de fabricação ainda na etapa de projeto. Neste caso, não existe muita discussão sobre *o que* fazer, somente *como*. Ou seja, cabe à equipe de processo estabelecer as condições de corte que permitam obter a superfície especificada por determinado processo de fabricação.

Caso contrário, o processista estará incumbido de estabelecer o melhor processo de fabricação no qual aquela superfície deverá ser submetida para que tenha as características desejadas no produto. Uma textura especificada pode ser obtida por uma infinidade de processos, o que torna interessante que o processista selecione esses processos e confeccione um corpo de prova para cada um, submetendo-os à avaliação através de procedimentos estabelecidos. Assim, o processista poderá comparar o especificado com os vários resultados das avaliações e decidir pelo processo mais adequado, que é exatamente o que defende Mesquita (1992). No caso de se optar por uma usinagem por geometria definida, não é raro o projetista basear-se em fórmulas teóricas, como a tradicional formula 7.

$$R_t \sim [F^2 / (8 \cdot r_\epsilon)] \quad (7)$$

Porém, se esta for a prática escolhida, é importante fazer a distinção entre rugosidades cinemática e de processo. A rugosidade de processo é a proveniente da condição de corte, isto é, da forma com que acontece o cisalhamento do material e de fatores externos com vibração e outros, enquanto a rugosidade cinemática é a parte que depende exclusivamente da geometria e da cinemática do movimento relativo da peça e da ferramenta.

A fórmula citada acima deve ser utilizada com cautela, pois é baseada somente na rugosidade cinemática, sendo uma aproximação desta, uma vez que não leva em consideração

fatores como os ângulos de posição κ_r e κ_r' ⁷. O cálculo dos valores de R_t para a equação 7 é válida quando:

$$f \leq [2 \cdot r_\varepsilon \cdot \cos \kappa_r] \quad (8)$$

Trata-se, neste caso, de uma simplificação da seguinte equação (Armarego e Brown apud Steidel, 2000):

$$R_t = [(1 - \sin \kappa_r) \cdot r_\varepsilon + f \cdot \cos \kappa_r \cdot \sin \kappa_r - (2 \cdot f \cdot r_\varepsilon \cdot \cos^3 \kappa_r - f^2 \cdot \cos^4 \kappa_r)^{1/2}] \quad (9)$$

Contudo, cabe acrescentar que, muitas vezes, a rugosidade de processo é significativa. Prova disso é que Ferraresi (1977) sugere um índice de usinabilidade baseado na rugosidade:

$$Cr = \frac{(R_t)_{teórico}}{(R_t)_{avaliado}}, \quad (10)$$

onde R_t teórico é o calculado pela fórmula citada anteriormente. Portanto, somente rugosidade cinemática e R_t avaliado é o medido da superfície real, sendo assim, rugosidade cinética mais de processo.

Ilustra-se essa diferença na figura 26. Um estudo realizado no LASUS comparou a rugosidade, R_t , obtida pela citada equação e pela distância entre pico e vale da representação gráfica da rugosidade cinemática utilizando um *software* de CAD, com a rugosidade R_t de dois corpos de prova de aço 1045 trefilado, um usinado com uma pastilha intercambiável de metal-duro da marca Sandvik para usinagem pesada modelo SCMT 120408-UR ($r_\varepsilon=0,8\text{mm}$) e outro para usinagem moderada modelo SCMT 120408-UM ($r_\varepsilon=0,8\text{mm}$) do mesmo fabricante.

As duas formulações teóricas são muito próximas, o que demonstra que nestas condições os fatores realmente predominantes são o avanço e o raio de quina.

⁷ Fator Angulo de posição (κ_r') somente é apreciável quando f (avanço) $> 0,25$ mm/rot e deve ser maior que 2° para que o gume secundário não raspe na peça, prejudicando o acabamento (Ferraresi, 1977).

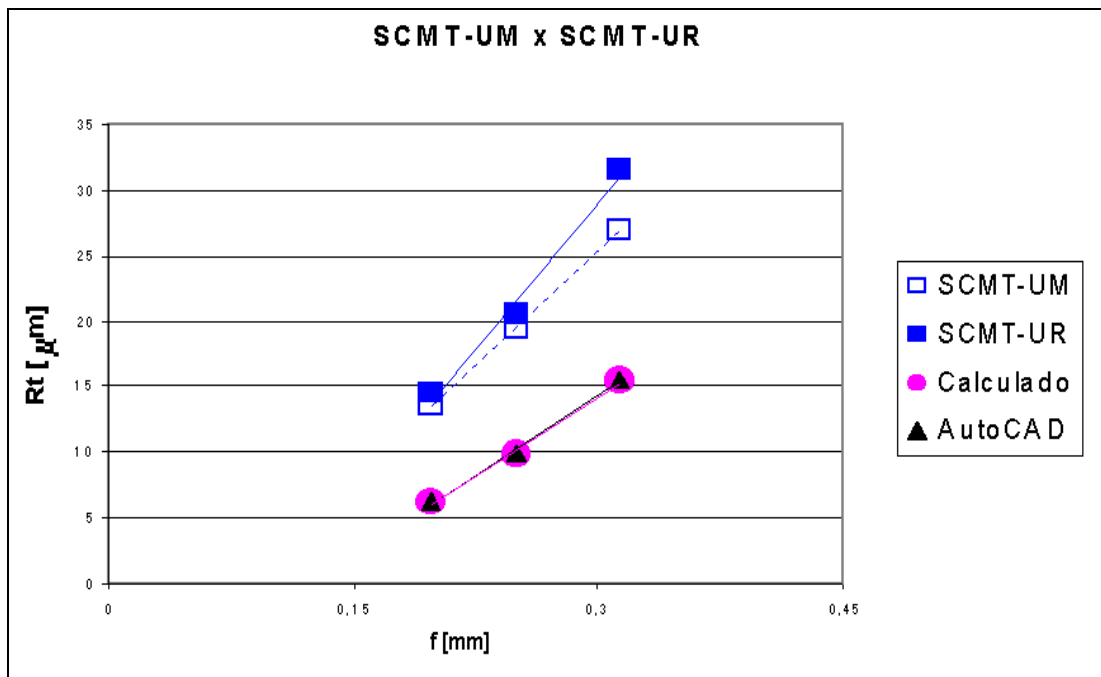


FIGURA 26 - Curvas comparativas para os valores de R_t obtidos por pastilhas de igual geometria

Contudo, existe uma diferença significativa entre o resultado avaliado nos corpos de prova e o resultado teórico, causada exatamente pela rugosidade de processo. Além disso, essa diferença é menor no corpo de prova usinado com a pastilha para usinagem moderada, no qual se teve um melhor corte.

É importante notar que a fabricação também resulta em uma situação parecida no que concerne à especificação. Muitas vezes, uma superfície já é tradicionalmente obtida por um determinado processo de fabricação; deste modo, o novo componente passa pelos mesmos processos que o similar, sem que isto, em qualquer momento do processo, seja questionado. É claro que, se uma superfície vem sendo fabricada com tais características por um determinado processo, acredita-se que a mesma seqüência de operações atenderá às condições necessárias para a obtenção da nova superfície. No entanto, os processos de fabricação estão continuamente evoluindo, inclusive novas tecnologias estão sendo desenvolvidas. Uma fábrica de pistão, conforme citado anteriormente, está acostumada a produzir a superfície da camisa por

brunimento, mas não pode ignorar a evolução dos processos de usinagem. Neste caso específico, tem-se discutido uma combinação entre usinagem a laser com posterior superacabamento. Ou seja, o laser promoveria os veios de acúmulo de óleo e o superacabamento garantiria uma superfície platafórmica, podendo-se alcançar superfícies equivalentes ou, até mesmo, de superior desempenho. Assim, é desejável que se estabeleçam padrões de fabricação para a obtenção de superfície, sem ignorar, porém, novas possibilidades.

2.4.3 AVALIAÇÃO

A avaliação da superfície é provavelmente a etapa na qual se concentra o maior número de normas, tanto em relação à textura quanto à integridade. No caso da textura, existem vários procedimentos para cálculo de parâmetros, confecção de padrões tátil - visuais, etc. Entretanto, não existe um procedimento descrevendo passo a passo como avaliar a textura de uma superfície, sendo que sua elaboração fica a cargo da própria empresa.

No tocante à integridade, existem vários procedimentos descrevendo exatamente como se deve fazer a avaliação da superfície, tanto para ensaios destrutivos quanto para não destrutivos. No código ASME (ASME, 1983) seção V – Exames não destrutivos, por exemplo, encontra-se a descrição de cada item que se deve ter atenção nos exames radiográficos, ultra-sônicos, por líquido penetrante, por partículas magnéticas, por corrente parasitas, visual e teste de vazamento.

Isso não significa que não seja necessária a elaboração de um procedimento de avaliação de textura. No item 2.1, verificou-se como algumas variáveis de entrada do rugosímetro podem alterar o resultado da medição, o que demonstra que o método usado na avaliação da textura deve ser rígido e conhecido. Somente assim a textura do componente poderá ser confrontada com o especificado pelo projetista, pois este deve ter em mente o procedimento de avaliação ao especificar a textura. Pode-se imaginar que ao projetar um componente, o responsável pelo projeto considere que a textura seria avaliada por um apalpador ótico e esta acaba sendo avaliada

por um mecânico! O método de avaliação foi muito menos rigoroso do que o esperado, sendo possível a aprovação de peças que o projetista não consideraria conformes. O mesmo problema poderia ser causado por qualquer incoerência entre a forma com que se está realmente avaliando a textura e a forma pela qual se espera que ela esteja sendo avaliada. Este problema torna-se mais grave quando se tem uma distância muito grande entre os diversos departamentos. Por isso, fica a recomendação de que os procedimentos de avaliação sejam conhecidos e rígidos.

A seguir, são apresentadas algumas recomendações para a elaboração dos procedimentos de avaliação de textura e de integridade.

a) Textura

No procedimento de avaliação de textura deve ficar bem claro a forma com que são definidos os parâmetros de entrada do equipamento e o tipo de equipamento a serem usados, para as várias situações corriqueiras da empresa, tais como:

- a) Quais os tipos de aparelho e apalpador a serem usados;
- b) Qual o tipo de filtro a ser usado; e
- c) Quais os critérios para decidir qual *cutoff* deve ser usado, no caso de um rugosímetro.

Em casos excepcionais, nos quais a regra geral não pode ser aplicada, é preciso esclarecer quais as providências que devem ser tomadas. Deve-se também avaliar, durante o procedimento, os critérios para a decisão de como medir a textura, isto é, em que direção, em que região da peça e em quantas vezes em cada peça deve ser feita a medição.

b) Integridade

Para a avaliação da integridade da superfície MDC (1980) indica algumas técnicas que avaliam certas características: mecânicas estática e dinâmica; metalurgia da superfície; química da superfície e outras. O quadro 10 exemplifica duas delas:

QUADRO 10 – Algumas técnicas para medição da integridade da superfície (MDC, 1980)

Propriedade	Técnicas usuais	Técnicas especiais
Metalurgia da superfície: microestrutura; microdureza; microtrincas e defeitos tipo cavidade.	Seccionamento metalúrgico e microscopia ótica; Teste de microdureza Knoop ou Vickers Não destrutivos como: macro gravação, líquido penetrante, etc.	Microscopia eletrônica de transmissão; Microscopia eletrônica de varredura; Não destrutivos como: corrente parasita, ultra-som, etc.
Propriedades dinâmicas fadiga de alto ciclo; fadiga de baixo ciclo.	Teste de fadiga por flexão de alto ciclo; Teste de fadiga por flexão de alto ciclo.	Teste de fadiga por flexão de baixo ciclo; Teste de fadiga por flexão de baixo ciclo;

Quanto à metodologia, MDC (1980) delinea três níveis de avaliação da integridade superficial. O primeiro, denominado levantamento mínimo de dados, é o mais simples e deve ser considerado como uma análise superficial do estado da textura e da integridade, descrito no quadro a seguir:

QUADRO 11 – Dados mínimos de integridade da superfície (MDC, 1980)

<p>Textura da superfície – Medição da rugosidade seguindo a norma ANSI B46.1⁸ ou mapeamento microtopográfico, designação da superfície ou fotografia, ocasionalmente pode-se incluir varredura com microscópio eletrônico;</p> <p>Macroestrutura (aumentos menores que 10 X) – Macrotrincas ou imperfeições superficiais; indicadores macroscópicos (líquido penetrante ou partículas magnéticas, por exemplo), teste com condicionador químico (agente químico);</p> <p>Microestrutura (exame de seção transversal com aumento superior a 1000 X) – Microtrincas; deformações plásticas – é sugerido a observação em seções paralelas à camada superficial, transformação de fase, ataque intergranular, microdefeitos, gume postiço, camadas refundidas, ataque seletivo; transformações metalúrgicas; e</p> <p>Alterações na microdureza – Zona termicamente afetada.</p>

⁸ Apud MDC (1980)

O segundo nível de levantamento, ou levantamento padrão, traz todas as informações do levantamento mínimo, acrescentando, ainda, os resultados obtidos na análise de tensões residuais e de testes de alto ciclo de fadiga.

O terceiro, e mais severo, é o levantamento estendido, que fornece também dados a partir de levantamentos estatísticos de falha e de mais uma série de testes, descritos no quadro 12:

QUADRO 12 - Levantamento estendido da integridade da superfície (MDC, 1980)

Dados do levantamento padrão;

Testes de fadiga para levantamento estatístico de dados de projeto;

Testes de tensões corrosivas em diversos tipos de meios;

Testes mecânicos adicionais – Tração, tensão de ruptura, “creep” (deformação), teste de fratura, fadiga de baixo ciclo, teste de temperatura criogênica ou temperatura elevada, propagação de trinca, composição química da superfície, teste de fricção, teste de desempenho, etc.

2.4.4 CONTROLE

De acordo com Leme (1967), o conceito de controle está relacionado com a execução de uma sucessão de quatro fases (ilustrado pela figura 27):

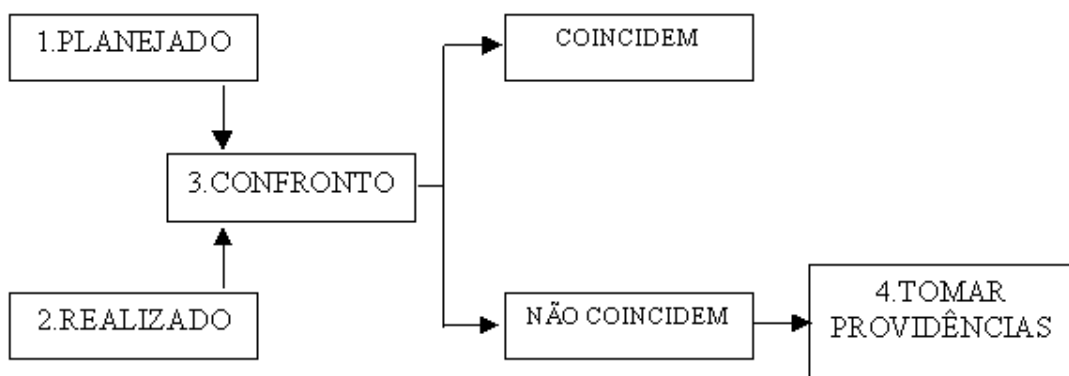


FIGURA 27 – Representação gráfica das fases do controle (Leme, 1967)

- a) Considerar o que foi planejado (especificado);
- b) Considerar o que foi realizado (fabricado);
- c) Confrontar o planejado com o realizado;
- d) Tomar providências quando o planejado e o realizado não coincidem.

O controle da superfície tem como primeiro propósito verificar se a especificação está sendo atendida e tomar as providências necessárias caso isto não ocorra. Todavia, pode-se ir além, tornando viável a possibilidade de se controlar o processo produtivo, já que a qualidade da superfície é, neste caso, um quesito relevante para o componente.

Para verificar se a superfície fabricada está de acordo com o especificado, deve-se fazer o controle coerente baseado nos mesmos critérios utilizados na especificação. Assim, no caso de a especificação se basear em um determinado indicador (parâmetro de textura ou alterações de integridade), não há razão para se controlar os outros.

O processo decisório do número de medições a se realizar, sua localização e a frequência a serem executadas, devem-se basear no comportamento estatístico dos indicadores escolhidos para o controle da superfície, uma vez que dependem de vários fatores, tais como: a incerteza do instrumento de medição, a heterogeneidade da superfície, a repetibilidade do processo de fabricação e qualquer outro fator que influencie no resultado da medição. É evidente que, com o aumento do número de medições, também se aumenta a confiabilidade dos resultados. Contudo, esta prática é penalizada pelo custo e tempo despendidos, o que leva a procurar uma situação satisfatória, aliando a menor incerteza ao menor custo possível.

Schroeter (1996), por exemplo, chegou à conclusão de que dez medições seriam suficientes para avaliar a textura da superfície resultante de processos de usinagem de ultraprecisão em cristais infravermelhos, para os parâmetros R_a e R_t , usando um microscópio interferométrico TOPO-3D, fabricado pela firma Wyko Corporation.

Com relação à textura, a norma francesa NF – E 05-018 (AFNOR, 1969) sugere um exame crítico da prescrição do controle, e recomenda que três aspectos sejam satisfeitos:

- a) Rastreabilidade do parâmetro de controle (R_a , R_t , etc.). É recomendado que se delinieie o número de peças por amostragem e a ordem em que elas serão medidas, bem como o número e a localização das medições na superfície da peça e o comprimento de medição;
- b) Método de exploração e acessórios. Pode ser realizado através de padrões de comparação ou por instrumento eletrônico (*Pick-ups* ou óticos), trazendo a norma E 05-017⁹ (AFNOR, 1986) como referência sobre essas práticas; e
- c) Análise dos resultados da exploração. Deve ser previamente incorporada no programa de medição e processamento dos resultados.

Apesar da norma citada ser específica para textura, o controle da integridade deve obedecer passos similares, só que referente às alterações nas camadas sub-superficiais. Em relação ao controle do processo, é recomendável que se selecione, dentre os indicadores escolhidos na especificação da superfície, aqueles que sofrem variação significativa¹⁰ durante o processo de fabricação, para então usá-los como indicadores de controle.

Uma vez definida a faixa de variação aceitável destes indicadores para o componente, pode-se realizar experimentos determinando também a faixa aceitável das variáveis de entrada do processo (técnicas como Taguchi experimental e D.O.E.¹¹, desejáveis neste momento). Desta maneira, torna-se possível controlar o processo, não apenas pelas características da superfície, mas também pelas variáveis de entrada. Esta possibilidade é ainda mais interessante no trato da

⁹ Outras referências – ISO 2632/1 (ISO, 1975), ISO 2632/2 (ISO, 1977), ISO 2632/3 (ISO, 1979) e DIN 4769/1 (DIN, 1972a), DIN 4769/2 (DIN, 1972b), DIN 4769/3 (DIN, 1972c).

¹⁰ Entende-se, aqui, por “variam significativamente”: a variação do indicador que correlacione com a do processo.

¹¹ D.O.E. – *Design of experiments* – Delineamento de experimento.

integridade da superfície, já que a avaliação das alterações é normalmente difícil. É mais fácil, por exemplo, controlar um processo de fosfatização (espessura da camada fosfatizada) pelo pH do banho ácido, pela temperatura do banho de fosfato (e assim por diante), do que controlar a própria espessura da camada. Ou seja, utilizando essas variáveis, aliadas a uma metodologia de controle de processo (C.E.P, por exemplo), pode-se garantir a qualidade do componente.

Como qualquer outro fator, acredita-se que o primeiro passo no controle da textura é o estabelecimento do quão crítico o indicador é para o componente. Muitas vezes, especifica-se uma superfície e esta característica não é tão restritiva para o funcionamento do componente. Exemplo disso é uma superfície que receberá uma pintura epóxi e tem como especificação $R_a=6,4$ e a textura avaliada do componente é $R_a=6,7$. Apesar de ter-se extrapolado o limite máximo de especificação, não implica que o componente terá seu funcionamento prejudicado. Não sendo crítico para o componente, a textura funciona, muitas vezes, como parâmetro orientativo. Neste sentido, vale lembrar que, em outros casos, um pequeno desvio no valor do parâmetro pode prejudicar seriamente o desempenho, chegando ao extremo de se rejeitar a peça que extrapole as condições de especificação.

Independente do caso, é necessário que fique bem claro o quão crítico é o indicador de textura. É desejável que se crie uma norma interna, estabelecendo padrões de criticidade. E, assim, deve-se apresentar, junto à especificação da textura, qual o padrão em que aquele indicador se enquadra. O quadro a seguir é um exemplo de simbologia para indicar a criticidade do indicador.

QUADRO 13 – Simbologia de criticidade do indicador

- - Símbolo de criticidade total - tanto para valores superiores quanto para valores inferiores ao especificado, segregar o lote e abrir processo de anomalia.
- ◐ - Símbolo de criticidade inferior - para valores inferiores ao especificado, segregar o lote e abrir processo de anomalia. Para valores superiores, liberar as peças e corrigir o processo
- ◑ - Símbolo de criticidade superior - para valores inferiores ao especificado, liberar as peças e corrigir o processo. Para valores superiores, segregar o lote e abrir processo de anomalia.
- - Quando este ou nenhum símbolo de criticidade for apresentado - liberar as peças e corrigir o processo.

2.4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O que se propõe com essa seqüência de sugestões apresentadas, neste quarto item do capítulo quatro, é que as informações não se percam e nem sejam distorcidas durante toda a cadeia produtiva do componente. A melhor forma de evitar isso é integrar as várias áreas afins, propondo técnicas como Engenharia Simultânea (ou Integrada). Assim, quanto mais próximas estiverem as várias áreas da empresa, maior será a fidelidade entre o componente desejado com o fabricado.

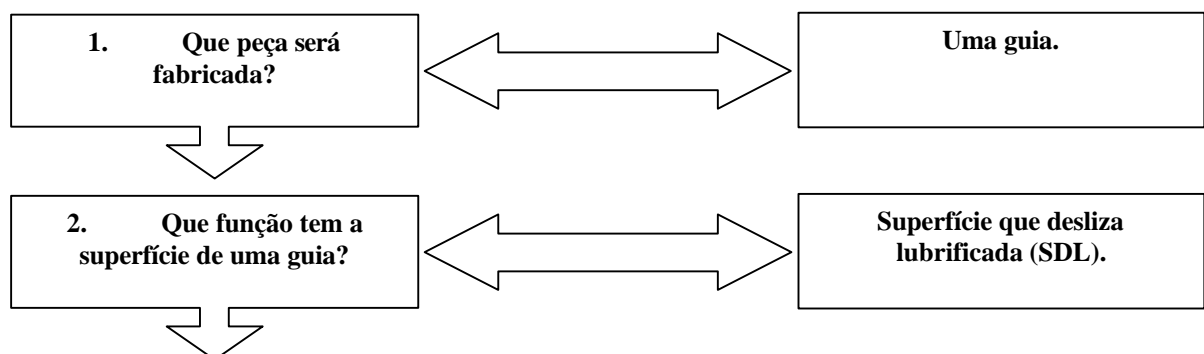
Por fim, recomenda-se que se teste o desempenho do componente fabricado para verificar se o processo produtivo resultou em uma situação coerente com o desejado. Esta recomendação parece óbvia, mas é ainda mais representativa no que concerne à textura, pois, como foi

abordado no item 2.4.1, não existe uma relação definida entre textura e função, podendo, em um caso crítico, chegar a uma superfície que não atenda às características funcionais, mesmo seguindo a seqüência lógica que a boa prática da engenharia prega.

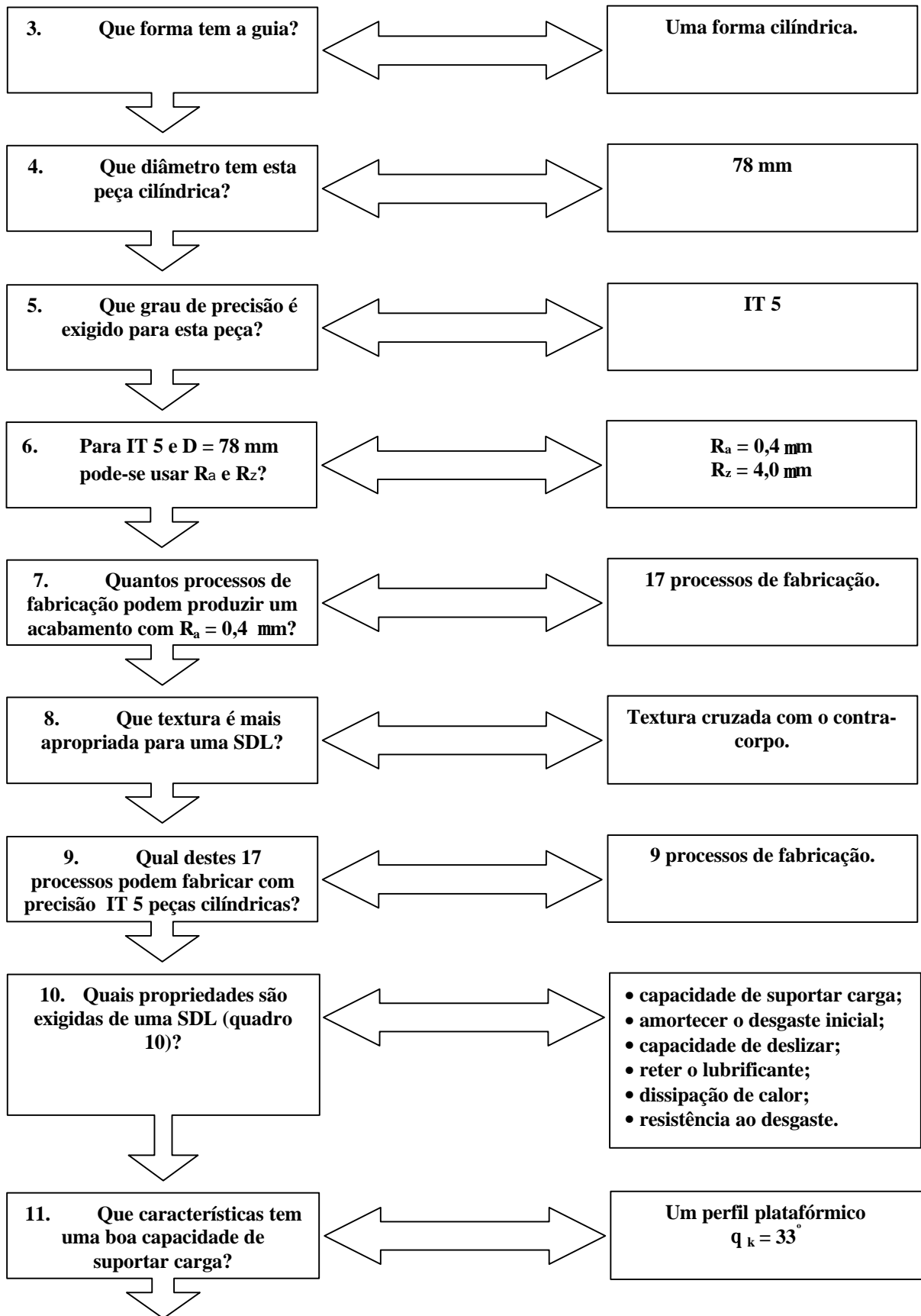
2.5 METODOLOGIA PROPOSTA POR MESQUITA (1992) PARA A AVALIAÇÃO E ESCOLHA DA TEXTURA DA SUPERFÍCIE

Pretende-se, numa segunda etapa, analisar a viabilidade da metodologia proposta por Mesquita (1992) para a avaliação e escolha da textura da superfície desejada, segundo sua função e fabricação. Neste item, a referida metodologia será brevemente apresentada e exemplificada em uma superfície lubrificada de deslizamento (SLD) de uma guia cilíndrica.

Para a definição e especificação da textura da superfície, Mesquita (1992) sugere que a descrição da microgeometria que a superfície deve apresentar para satisfazer as características funcionais seja feita através de seis fatores: desvio geométrico, tipo de perfil, dependência da direção, ângulo, reentrância e elevação. Diante desta caracterização da superfície desejada, seleciona-se o processo de fabricação mais adequado, obedecendo à sistemática mostrada pela figura a seguir¹²:



¹² A FIGURA 28 foi extraída na íntegra de Mesquita (1992)



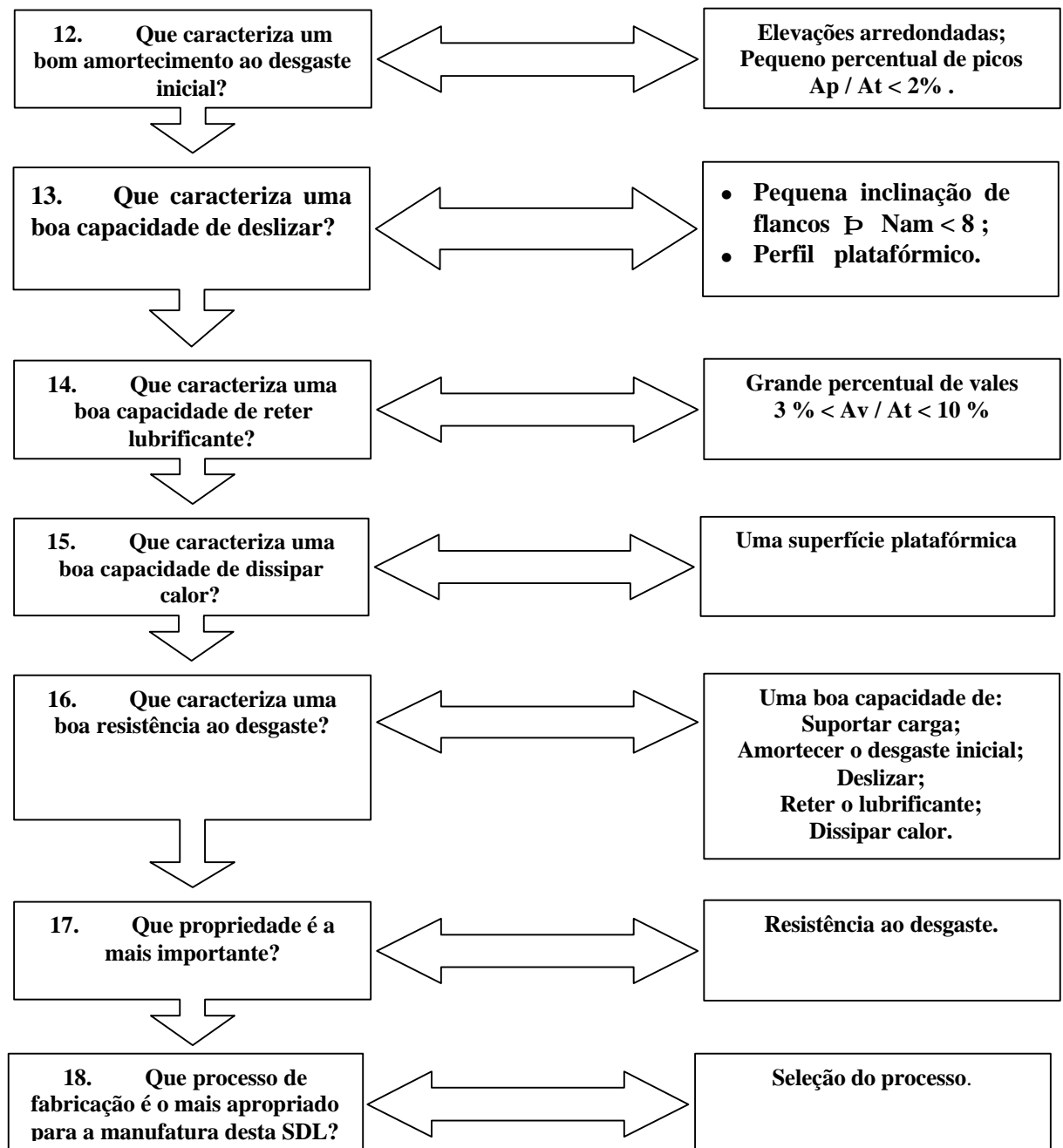


FIGURA 28 – Sistemática proposta para a seleção do processo de fabricação (Mesquita, 1992)

Observa-se que os dois primeiros passos dedicam-se ao reconhecimento da solicitação. Do terceiro ao nono passo, o ponto estudado é o grau de precisão exigido e quais os processos de fabricação capazes de produzir dentro desta especificação. Isto porque não se pode analisar a

textura isoladamente, uma vez que todos os desvios (de primeira a sexta ordem) influenciam no desempenho do componente. Estes processos de fabricação são: torneamento (com pastilha de alisamento), torneamento longitudinal, retificação cilíndrica, retífica cilíndrica de topo, fresamento cilíndrico, brunimento cilíndrico, retificação com lixa, lapidação cilíndrica circunferencial e lapidação cilíndrica lateral.

No décimo passo, retoma-se o estudo da solitação, direcionando, mais especificamente para a textura, além de serem determinadas as características funcionais que a superfície deve apresentar. Do décimo primeiro ao décimo sétimo, correlacionam-se tais características funcionais com a microgeometria da superfície, como mostra o quadro 14.

QUADRO 14 – Descrição da superfície desejada para função SLD (Mesquita, 1992)

Exigências a uma SDL	Descrição da microgeometria de uma SLD através de:					
	Desvio geométrico	Tipo de perfil	Dependência da direção	Ângulo	Reentrância	Elevação
Resistência ao desgaste	0,1 <Ra< 1,0					
Amortecimento ao desgaste inicial		Perfil platafórmico				Pequena região de picos
Capacidade de deslizar				Pequeno ângulo de declive		
Capacidade de reter o lubrificante			Superfície dependente (textura transversal à direção de deslizamento)		Fendas profundas, depressões (reservatórios de lubrificante)	
Capacidade de suportar carga		Perfil platafórmico				Picos arredondados
Dissipação de calor		Grande área de contato				Picos arredondados
Superfície desejada¹³	0,1 <Ra< 1,0	Superfície platafórmica com grande área de contato	Superfície dependente da direção	Pequeno ângulo de declive	Grande região de reentrâncias	Pequena região de elevações com picos arredondados

¹³ No referido trabalho designa-se a *superfície desejada* por *superfície ideal*, nomenclatura que não foi adotada por motivos já citados.

Finalmente, no décimo oitavo passo seleciona-se o processo de fabricação mais adequado. Esta seleção deve ser baseada na análise da textura de corpos de prova produzidos por três dos nove processos de fabricação selecionados no nono passo. A escolha destes três processos obedeceu à disponibilidade de recursos. Os corpos de prova foram todos feitos do mesmo material, aço inox DIN 1.4 305 (equivalente ao SAE 303), e as condições de medição foram idênticas, 5,6 mm de comprimento de medição com apalpador óptico acoplado em um rugosímetro S6P, fabricado pela Perthen.

Para efetuar a análise dos resultados, Mesquita (1992) usa um índice de avaliação, que varia de um a cinco, recebendo nota 1 o processo que produz a superfície mais adequada para as propriedades exigidas. Assim, o autor chega à conclusão de que o processo de fabricação mais adequado é o torneamento com pastilha de alisamento.

Na prática, a fabricação de guias cilíndricas é feita por uma seqüência de operações, além de tratamento térmico, porém somente após o último processo de fabricação é que a superfície da guia atinge as características requeridas. É pertinente esclarecer que a tese de doutorado de Mesquita (1992) não teve como objetivo encontrar processos alternativos para a produção de guias, mas sim o desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação e escolha da textura da superfície desejada, segundo sua função e fabricação, exemplificado em uma SLD.

Esta metodologia foi utilizada nesta pesquisa como referencial para o cumprimento de um dos objetivos deste estudo, uma vez que também se pretende analisar, junto à indústria, como é feita a avaliação e escolha da textura da superfície desejada e de que forma é realizada a tomada de decisão sobre qual processo de fabricação é mais adequado para a obtenção desta textura. Adicionalmente, expandiu-se a análise também para a integridade da superfície e, dentro deste contexto, estudou-se como é tratada a avaliação e o controle tanto da textura quanto da integridade da superfície produzida, como mostra a figura 29.

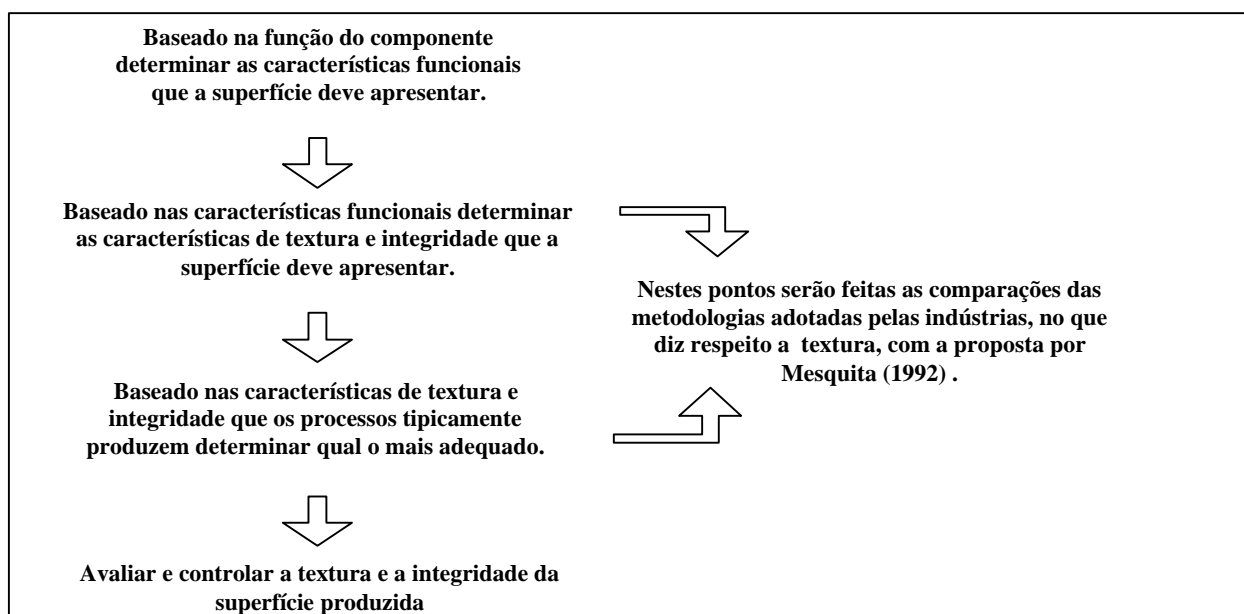


FIGURA 29 – Análise proposta pela dissertação de mestrado

Com vistas a alcançar os objetivos anteriormente citados, foi utilizada uma metodologia de pesquisa qualitativa. O capítulo que segue tem por finalidade discutir as várias técnicas de pesquisa qualitativa para fornecer a fundamentação necessária ao entendimento da pesquisa de campo.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA DA PESQUISA

Para entender melhor o significado da expressão **metodologia científica**, convém partir da seguinte reflexão de Cagnin (2000): as ciências exatas, bem como as sociais, fundamentam-se na teoria e na pesquisa empírica. O desafio do cientista é estabelecer uma conexão entre estas duas vertentes. Para Minayo (1993), esta combinação particular entre teoria e dados é uma atividade de aproximação sucessiva da realidade que nunca se esgota, é um processo intrinsecamente inacabado e permanente que define a atividade básica das ciências: a **pesquisa científica**.

Quanto ao termo metodologia, cabe destacar, como faz Barbosa Filho (1980), que se trata da combinação de dois outros termos, ambos derivados do grego: método (methodo) e logia (logos), sendo que o primeiro termo significa organização e o segundo se traduz por estudo sistemático. Nessa perspectiva, Dempsey apud Consalter (1999) define **metodologia de pesquisa** como "um procedimento científico de investigação e/ou experimentação que envolve a coleta de dados propositada, sistemática e rigorosa, tendo uma análise voltada para a aquisição de novos conhecimentos, e cujo objetivo final é o desenvolvimento organizado do conhecimento científico".

O presente capítulo tem como objetivo expor uma breve teorização sobre a metodologia utilizada na pesquisa de campo realizada. No primeiro item, são expostas as formas de pesquisa de acordo com dois critérios de classificação; no segundo, será apresentado o tipo de pesquisa que foi realizado, no caso, a pesquisa qualitativa. O terceiro item é um breve resumo da estratégia de pesquisa qualitativa usada, e, finalmente, no último são apresentadas algumas considerações importantes para o êxito da pesquisa.

3.1 CLASSIFICAÇÃO

Toda classificação deve se basear em um critério de distinção, e no que se refere à classificação de pesquisas, os dois mais comuns são: o objetivo e o procedimento.

3.1.1 CLASSIFICAÇÃO COM BASE NO OBJETIVO

De acordo com Gil (1987), é possível classificar as pesquisas com base no objetivo em três grandes grupos: exploratórias, descritivas, explicativas.

- a) Exploratórias - Este tipo de pesquisa tem como principal objetivo aumentar a familiaridade com um problema. Desta forma, seu planejamento é bastante flexível, e usualmente se dá por levantamento bibliográfico ou estudo de caso.
- b) Descritivas - As pesquisas descritivas têm como objetivo correlacionar e/ou descrever características específicas de uma determinada população ou fenômeno.
- c) Explicativas - Pesquisas explicativas têm como principal objetivo identificar e avaliar os fatores que influenciam na ocorrência de um determinado fenômeno, questionando as razões.

3.1.2 CLASSIFICAÇÃO COM BASE NO PROCEDIMENTO

Cabe explicitar as diferenciações entre a pesquisa experimental e a não-experimental:

- a) Experimental - O método de pesquisa experimental consiste, de acordo com Chizzotti (1995), em analisar um fenômeno, formulando uma hipótese e submetendo à verificação através de experimentos em condições de controle e apreciá-lo coerentemente, com critério de rigor, mensurando a constância das incidências e suas exceções, a fim de extrair leis nomotéticas, de fazer generalizações e de elaborar teorias explicativas do fenômeno observado.

- b) Não-experimental (Pesquisa Qualitativa) - Dempsey apud Consalter (1999) enfatiza que a pesquisa não-experimental é caracterizada pelo comportamento holístico, naturalista e indutivo, preocupando-se com a totalidade do contexto, sem impor um controle das variáveis do processo, e ajusta-se conforme o andamento dos trabalhos. Tem como ponto fundamental “o comprometimento de expressar a visão de eventos, ações, normas, valores, etc. do ponto de vista das pessoas que estão sendo estudadas”, segundo Consalter (1999), o que vale, também, para todo tipo de objeto de estudo.

3.2 PESQUISA QUALITATIVA

Para que a pesquisa cumpra efetivamente seus objetivos, deve-se ter bem claro o problema em questão, pois só assim se pode optar por uma determinada estratégia. Segundo Yin (1994), esta escolha depende fundamentalmente de três tópicos que devem ser avaliados: os tipos de questões da pesquisa; o controle que o investigador tem sobre o comportamento do evento; e o foco no contemporâneo em oposição ao fenômeno histórico. O quadro 15 correlaciona estes três pontos com algumas estratégias.

QUADRO 15 - Pontos relevantes para determinar a estratégia (Yin, 1994)

Estratégia	Tipos de questões da pesquisa	Tem controle sobre o comportamento do evento	Foco no contemporâneo
Experimento	Como, por que,	Sim	Sim
<i>Survey</i>	Quem, qual, onde, quanto	Não	Sim
Histórico	Como, por que,	Não	Não
Estudo de Caso	Como, por que,	Não	Sim

Os tipos de questões apresentadas vão ao encontro do propósito da pesquisa. Assim, no caso de uma pesquisa tipo experimental, as perguntas seriam: como um evento acontece e por quê, além de se ter a possibilidade de manipular o evento. Perguntas do tipo "qual", por sua vez, podem ser decorrentes de duas possibilidades: a primeira decorre de um estudo exploratório (por exemplo: "qual a forma como se procede?"), pois pretende identificar hipóteses para posteriores questionamentos, sendo possível adotar qualquer uma das estratégias. Perguntas como: "qual o lucro proveniente de uma inovação?" questionam mais o "quanto", o que direciona para estratégias como *surveys*.

O estudo de caso distingue-se pelo fato de estudar profundamente um ou poucos fatores. De acordo com Gil (1987), a maior utilidade do estudo de caso é em pesquisas exploratórias. Exatamente por se tratar de pesquisa flexível, esta estratégia é indicada para o estudo de um assunto ainda em investigação, ou até para situações em que o assunto já é suficientemente conhecido e deseja-se avaliar uma situação real. O estudo de caso tem como principais vantagens o estímulo a novas descobertas e a ênfase na visão em sua totalidade e na simplicidade da coleta de dados.

Pesquisa tipo estudo de caso é uma das várias formas de se fazer pesquisa científica. Cada estratégia tem vantagens e desvantagens, sendo sua escolha o primeiro passo para o sucesso da pesquisa. Além disso, cada estratégia pode ser usada de três diferentes formas: exploratória, descritiva ou explicativa. Entretanto, isso não implica que os limites das estratégias sejam bem definidos. Mesmo que cada estratégia tenha características distintas, Yin (1994) enfatiza que existe uma grande área de atuação em que elas se sobrepõem. Neste trabalho, optou-se pela pesquisa tipo estudo de caso, que permite a compreensão mais aprofundada do objeto de estudo com bastante flexibilidade de ação.

É interessante lembrar que a adoção desta estratégia implica que este trabalho é o primeiro passo para o entendimento do quadro que se deseja estudar, uma vez que se trata de uma pesquisa exploratória. Para a complementação, talvez seja indicado uma pesquisa tipo *survey*, que permite quantificar e, conseqüentemente, facilitar generalizações. De acordo com Hudelson (1994), os enfoques qualitativos e quantitativos (*survey*) são complementares e devem ser combinados de tal forma que se maximizem os pontos fortes e minimizem as limitações de cada um. Por exemplo:

- a) A pesquisa qualitativa pode facilitar a quantitativa identificando tópicos que são apropriados para o método *survey*;
- b) A pesquisa quantitativa pode ser usada para facilitar a qualitativa fazendo generalizações para amostras maiores ou identificando grupos que mereçam um aprofundamento; e
- c) A pesquisa qualitativa pode ajudar a interpretar correlações entre variáveis detectadas em estudos quantitativos.

3.3 PESQUISA TIPO ESTUDO DE CASO

Como visto no item anterior, estratégias tipo estudo de caso são mais recomendadas para situações em que se questione "como" e "por que" um evento contemporâneo ocorre, sobre o qual o investigador tem pouco ou nenhum controle, mas que o possibilita fazer observações diretas e entrevistas com os participantes (Yin, 1994).

No entanto, a escolha desta estratégia apresenta alguns problemas e dificuldades. O primeiro deles, e provavelmente o mais comum, é a falta de rigor na pesquisa. Yin (1994) salienta que muitas vezes, o pesquisador permite que evidências equivocadas ou visões tendenciosas influenciem na direção dos resultados e nas conclusões; sendo que, obviamente, o

pesquisador deve se precaver para não dar margem a este tipo de erro. O segundo ponto, ressaltado por Gil (1987), é a dificuldade de generalização dos resultados, o que provavelmente exigirá do pesquisador um nível de capacitação mais elevado no assunto a se pesquisar. Por fim, uma reclamação muito recorrente é o fato de, comumente, os estudos de casos serem bastante extensos e resultarem em documentos massivos e de difícil leitura.

Apesar de este ser um tipo de pesquisa altamente flexível, neste item será apresentada uma seqüência de etapas para o desenvolvimento de uma pesquisa do tipo estudo de caso, compreendendo: delineamento da pesquisa, coleta de dados, análise dos dados e redação do relatório. Tendo em vista que não será possível aprofundar a discussão de cada item, sugere-se, se for do interesse do leitor, aprofundar-se no assunto, sendo que se recomenda a leitura da bibliografia indicada (sobretudo Yin, 1994, haja vista que esta foi a referência utilizada como base para esta pesquisa).

3.3.1 DELINEAMENTO

Cinco componentes são destacados por Yin (1994) como fundamentais para o delineamento de um estudo de caso: as questões do estudo, as proposições do estudo, a unidade de análise, as ligações lógicas dos dados coletados com o propósito do estudo e os critérios de interpretação e de conclusão.

Como descrito no item 3.2 – Pesquisa qualitativa, a definição das questões do estudo é o primeiro passo para o desenvolvimento da pesquisa. Baseado nas questões, o pesquisador irá definir não só a estratégia, mas também o propósito do estudo. No segundo passo, definem-se as proposições do estudo de forma que cada uma delas direcione a atenção para algo que deve ser examinado dentro do escopo do trabalho. Para isso, quanto mais específicos os propósitos do estudo, mais ele ficará dentro dos limites factíveis.

No entanto, alguns estudos têm uma razão legítima para não ter proposições. Esta é, conforme Yin (1994), a situação na qual o tópico em estudo é o objeto de exploração. Contudo, toda exploração deve ter pelo menos um objetivo. Ao invés de proposições, o delineamento da pesquisa exploratória deve levantar o seu objetivo, assim como os critérios a partir dos quais a exploração é considerada bem sucedida, ou não.

Considera-se a seguinte analogia proposta por Yin (1994): quando Cristóvão Colombo foi até a rainha Isabel para pedir auxílio para sua exploração do Novo Mundo, ele tinha que ter alguma razão para pedir três barcos (Por que não um ou cinco?), e algum indicativo para ir para oeste (Por que não ao norte ou ao sul?). Além disso, ele também tinha que ter algum critério para reconhecer o Novo Mundo quando ele realmente o encontrasse. Em suma, sua exploração começou por alguma razão e em alguma direção, mesmo que suas suposições iniciais mais tarde tenham-se provadas erradas

O terceiro passo importante do delineamento, a unidade de análise, está relacionado com a fundamentação do problema, ou seja, na definição do que é o caso propriamente dito. Em linhas gerais, a definição da unidade de análise (portanto, de caso) está relacionada com a forma pela qual as questões iniciais foram definidas. Segundo Yin (1994), esta etapa consiste em delimitar os objetos da pesquisa a ponto de se ter uma unidade que constitui o caso em estudo, o que pode ser uma pessoa, uma comunidade, um conjunto de relações ou processos, ou mesmo determinada cultura.

Faz-se necessário decidir o número de casos a se pesquisar. Yin (1994) sustenta que as pesquisas com caso único são justificáveis em certas circunstâncias, tais como: quando o caso representa um teste crítico para uma teoria existente; quando o caso for extremamente raro ou único ou quando o caso servir como uma revelação. Nota-se que em todas essas alternativas a replicação não é possível ou simplesmente não agregará valor algum, uma vez que o caso

estudado já é representativo. No entanto, essa não é a situação mais comum. Em geral, as pesquisas do tipo estudo de caso deparam-se com a necessidade de fazer replicações para validar a pesquisa, uma vez que as evidências de um estudo múltiplo são geralmente consideradas mais efetivas, e o estudo na sua generalidade é mais robusto (Yin, 1994).

A idéia da replicação no caso múltiplo está ilustrada na figura 30. A figura indica que o passo inicial no delineamento de uma pesquisa explicativa é o desenvolvimento da teoria, e demonstra que a seleção dos casos e definição do que se avaliará são etapas importantes no delineamento e processo de coleta de dados.

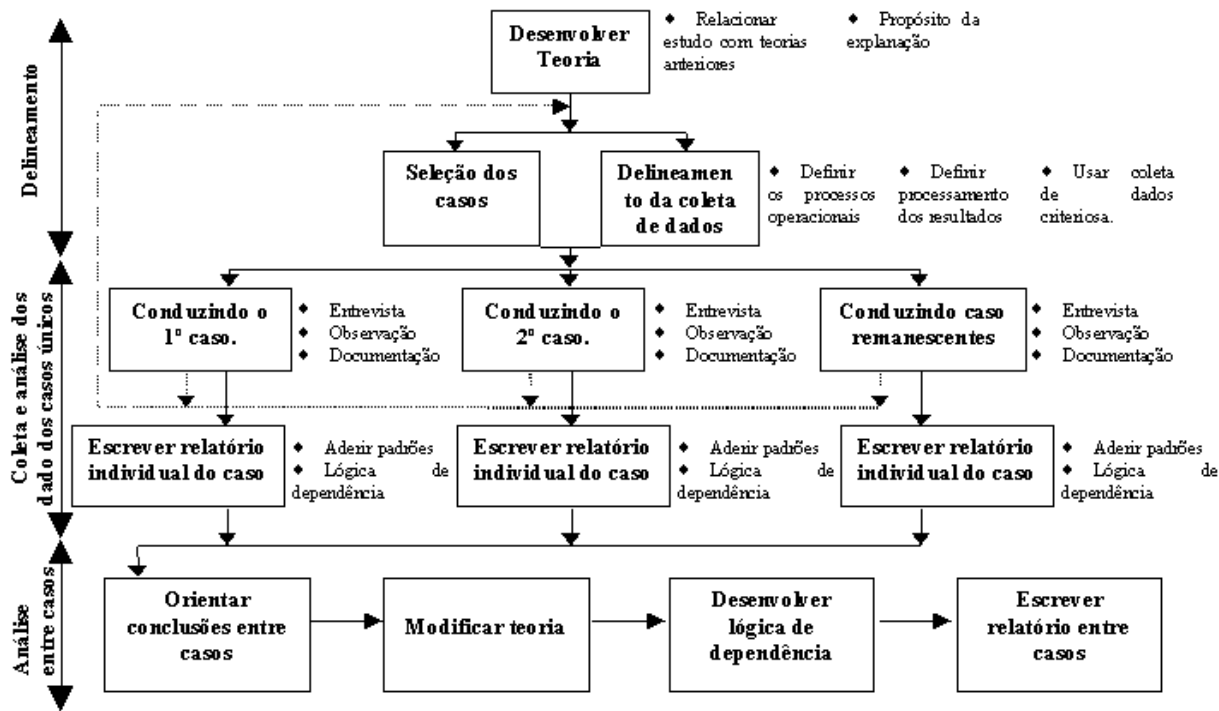


FIGURA 30 – Método de estudo de múltiplos casos¹⁴

Cada caso individual consiste em um estudo completo; em cada um convergem evidências e fazem-se conclusões sobre o caso. Cabe acrescentar que cada uma das conclusões de caso é considerada como informações necessárias a serem replicadas por outro caso

¹⁴ Yin, Bateman, & Moore (1993) apud Yin (1994).

individual. Os resultados de cada caso e a replicação deles devem ser o foco do relatório final. Em cada caso individual o relatório deveria mostrar como e porque uma determinada proposição foi ou não demonstrada. Na replicação o relatório deveria indicar a lógica dos eventos e porque certos casos se previu ter certos resultados, enquanto em outros se previu o contrário (Yin, 1994).

A questão que surge, então, é: quantos casos são suficientes ou necessários para dar validade a pesquisa? Esta é provavelmente a questão mais discutida entre pesquisadores. Contudo, a lógica de amostragem estatística não pode ser aplicada aqui. Aquele típico critério de tamanho de amostragem não é relevante na pesquisa qualitativa. Ao contrário disso, Yin (1994) recomenda que se pense nesta decisão como uma reflexão do número de replicações que se gostaria de ter no estudo, baseado no nível de incerteza que se quer ter. Essa decisão seria similar à que se toma ao definir a probabilidade de se aceitar um erro tipo I ou II no critério de amostragem estatística. Não existe uma fórmula para isso, essa decisão é determinística, baseado no julgamento do pesquisador quanto ao nível de incerteza que se quer obter. Assim, deve-se basear em algum critério que oriente a escolha do número de replicações. Gil (1987), por exemplo, recomenda três tipos de abordagem preferenciais: a busca de casos típicos, a seleção de casos extremos e a busca de casos anormais ou atípicos, esta última para conhecer, por contraste, os casos normais e as causas possíveis da perturbação.

O quarto e o quinto componentes têm sido os menos desenvolvidos em estudo de caso. Tanto as ligações lógicas dos dados coletados com o propósito do estudo quanto os critérios de interpretação e de conclusão representam os primeiros passos da análise de dados na pesquisa tipo estudo de caso; além disso, são neles que o delineamento deveria fazer a fundamentação da análise.

A ligação lógica dos dados coletados com o propósito do estudo pode ser feita de inúmeras maneiras. Um bom exemplo para esta etapa é a análise de padrões de afirmação e negação. Este método consiste em definir um padrão para um efeito e outro negando este mesmo efeito. Assim, compara-se a situação encontrada no estudo de caso com os dois padrões, podendo-se então verificar em qual deles o analisado adere melhor.

A questão que surge neste tipo de análise é: quão perto do padrão as informações devem estar para serem consideradas aderidas? Na verdade não há nenhuma forma precisa de se preparar os critérios de interpretação para este tipo de dedução. Todavia espera-se que a diferença entre os padrões seja suficientemente contrastante para garantir que as interpretações em termos das comparações seja suficiente nos dois propósitos rivais (Yin, 1994).

3.3.2 COLETA DE DADOS

São tantas as formas de coleta de dados para pesquisa qualitativa que se poderia escrever um livro apenas sobre essas técnicas. Várias bibliografias trazem discussões sobre qual delas seria a mais adequada para cada situação, mas Hudelson (1994), em seu guia para pesquisa em programa de saúde, lista várias destas técnicas, enfatizando seus pontos fortes e fracos, que estão resumidos no Apêndice II. As formas mais comuns de coleta de dados, segundo Gil (1987), são: a observação, a análise de documentos, a entrevista, sendo esta última provavelmente a forma mais comum e também a preferida pelos pesquisadores.

A entrevista é a conversação (a arte de perguntar e ouvir) que se fundamenta no fato de o entrevistador colher a visão do mundo que o entrevistado possui. Infelizmente, não é uma ferramenta neutra, com a qual o pesquisador possa criar a realidade do entrevistado naquele momento. O que significa que este método de coleta de dados pode ser influenciado pelas características do entrevistador, incluindo raça, classe social, hierarquia profissional, sexo, etc.

O registro do material resultante de uma pesquisa qualitativa é outro fator fundamental para o sucesso do trabalho. Os dados são fundamentalmente citações sobre o que as pessoas pensam, sentem, fazem ou conhecem (Consalter, 1999). E por melhor que seja a preparação e a coleta de dados não se poderá tirar conclusão alguma se as informações passadas pelos entrevistados não estiverem corretamente registradas. A gravação das entrevistas e sua posterior transcrição são ferramentas essenciais para garantir a fidelidade das informações.

Independentemente do tipo de pesquisa que se está realizando, alguns pontos devem ser levados em consideração na coleta de dados: o primeiro destes é a amostragem. Uma amostragem equivocada pode colocar em risco a validade da pesquisa, não trazendo os resultados esperados ou até inviabilizando-a. Nesse sentido, deve-se determinar a amostra de tal forma que esta seja representativa, que seu método de seleção se ajuste aos objetivos do estudo, e que os dados gerados sejam suficientes e representem com fidelidade o objeto de estudo, visto que já se selecionou um tipo de pesquisa qualitativa. A seguir, serão listadas algumas estratégias de amostragem relatadas por Morse apud Consalter (1999), a fim de se evitar amostragens equivocadas.

- a) Amostras intencionais: a amostra é selecionada com base no conhecimento do informante, o que significa que o pesquisador deve saber previamente quem são as pessoas mais indicadas para a pesquisa;
- b) Amostras indicadas: o primeiro informante indica um segundo, e assim sucessivamente. Acredita-se que, com o uso desta estratégia, os informantes teriam melhor condição de avaliar quem seriam as pessoas mais indicadas para a pesquisa, exatamente por já fazerem parte do meio;
- c) Amostras de voluntários: esta estratégia é apropriada quando o pesquisador ou um outro informante não consegue identificar as pessoas mais indicadas para a pesquisa;

d) População total: estratégia indicada para populações relativamente pequenas.

Consalter (1999) cita, ainda, virtudes que o informante deve ter e que são: conhecimento sobre o assunto pesquisado, experiência vivenciada na área de estudo, habilidade para relatar detalhadamente assuntos do fenômeno em estudo, disponibilidade e tolerância para relatar situações e responder perguntas e disposição e competência para criticar a pesquisa.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é a confiabilidade dos dados coletados e a validade dos resultados da pesquisa. A confiabilidade dos dados está relacionada com a representatividade do procedimento de coleta destes. Deste modo, o teste de confiabilidade julga a operacionalidade, a forma com que os dados foram coletados, como ilustra Morse apud Consalter (1999): confiabilidade “...relaciona-se com a consistência, estabilidade e a repetibilidade ou equivalência das narrativas dos informantes, bem como com a habilidade do pesquisador para coletar e registrar os dados com precisão”.

A validação dos resultados da pesquisa está relacionada com a representatividade do objeto da pesquisa através de informações. Assim, os testes de validade dos resultados julgam os resultados da análise dos dados coletados. Consalter (1999) cita quatro testes de confiabilidade e cinco de validade, como segue:

a) Testes de confiabilidade:

- **Teste de estabilidade** - Avalia se há variação nas respostas do entrevistado ou nas observações;
- **Teste de consistência** - Julga a lógica ou o fundamento das respostas;
- **Teste de equivalência** - faz o cruzamento das informações coletadas em uma entrevista ou observação a fim de avaliar se são equivalentes; e

- **Teste de validade de conteúdo** - o entrevistado avalia a transcrição da entrevista a fim de completar informações ausentes, corrigir eventuais erros e principalmente opinar sobre a validade da pesquisa.

b) Testes de validade:

- **Explicações diferentes** - Após a análise dos dados, o pesquisador compara os resultados com idéias que se opõem a estes. É importante salientar que esta prática não visa a invalidação dos fatos, mas sim buscar informações que suportem explicações alternativas;
- **Negação de casos** - Compara-se o modelo ou a tendência proposta com casos que não seguem a mesma linha;
- **Triangulação** - Faz o cruzamento das informações coletadas de forma variada, por exemplo, de uma entrevista com documentos referentes ao caso. Existem duas abordagens para a triangulação: a primeira verifica a coincidência dos dados a partir de diferentes fontes utilizando o mesmo método e a segunda confronta dados de diferentes fontes usando métodos diferentes, como o exemplo citado anteriormente;
- **Validação pragmática concorrente** - Assim como na triangulação, a validação pragmática compara dados obtidos em fontes e/ou métodos diferentes, só que utiliza padrões ou regras de comparação preestabelecidas; e
- **Painel de peritos** - Um grupo de pessoas com conhecimento comprovado no assunto em questão faz a análise dos resultados. Este método é especialmente recomendado para o caso de o pesquisador não ser muito familiarizado com o objeto de estudo.

3.3.3 GERENCIAMENTO DE DADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

Tendo em vista que os resultados de uma pesquisa tipo estudo de caso concentram, geralmente, uma grande quantidade de dados, o manuseio e a análise destes dados não costumam ser fáceis de serem realizados, o que torna esta etapa uma das mais laboriosas do trabalho.

No estudo de caso, os dados coletados são de difícil tratamento, pois, como enfatiza Gil (1987), não é possível sistematizar etapas que devem ser observadas no processo de análise e interpretação dos dados. Yin (1994), por exemplo, defende que toda análise deve iniciar na visão generalista e recomenda, para isso, técnicas como aderência de padrões ou análise de séries temporais. Já Chizzotti (1995) aconselha que, para se conseguir fazer uma análise crítica, os dados coletados devam ser indexados e/ou reduzidos segundo critérios previamente definidos.

Independentemente da abordagem, é interessante que já se tenha estabelecido as ligações lógicas entre os dados coletados, com o propósito no delineamento da pesquisa e que elas sejam seguidas na análise dos dados.

Neste item, será apresentado o enfoque dado por Miles e Huberman (1987), que fundamenta a análise em três etapas: redução de dados; mostruário de dados; e desenvolvimento e verificação das conclusões.

a) **Redução de Dados**

Redução de dados refere-se ao processo de selecionar, focalizar, simplificar, abstrair e transportar os dados ainda não tabulados das anotações de campo. Esta é, conforme Miles e Huberman (1987), uma forma de análise que aguça, classifica, enfoca, descarta e organiza dados de uma forma que as conclusões finais podem ser deduzidas e verificadas.

Observa-se que o processo de redução não significa a diminuição pura e simples do volume de dados, mas sim uma forma sistemática de processá-los. Essa redução de dados pode ser feita por seleção, por resumo ou parafaseamento, por exemplo. Algumas vezes, é

interessante converter os dados em números ou em classes hierárquicas (forte, fraco e moderado), mas nem sempre esta é uma prática sensata. Mesmo quando parecer uma ótima estratégia de análise, Miles e Huberman (1987) recomendam que se mantenham junto os números e os textos que embasaram a hierarquização. Assim não se corre o risco de desligar os dados do contexto em que eles ocorreram.

b) Mostuário de dados

Pode-se entender como mostuário na vida cotidiana os anúncios, sinais de advertências ou qualquer outra forma de sintetizar dados para permitir que as pessoas, ao lerem, entendam, possibilitando a tomada de decisão. Na análise de dados qualitativos não é diferente. Miles e Huberman (1987) definem mostuário de dados como a montagem organizada de informações que permite desenvolver conclusões e tomar ações.

É conveniente lembrar que os dados resultantes da pesquisa estarão dispersos; pobremente estruturados e extremamente volumosos e sua leitura seria terrivelmente enfadonha. Diante dessas circunstâncias, não é difícil que o pesquisador, levado pela pressa, acabe fazendo conclusões infundadas. Os seres humanos não são bons processadores de grande quantidade de informações, a tendência cognitiva é de reduzir informações complexas em configurações fáceis de entender (Miles e Huberman, 1987).

Várias são as técnicas de Mostuário. No referido livro de Miles e Huberman (1987), discute-se sobre matrizes, gráficos, redes e diagramas. Todas essas ferramentas têm o intuito de organizar a informação com acessibilidade e de forma compacta, de tal maneira que o analista possa ver o que está acontecendo e desenvolver conclusões justificadas ou simplesmente desconsiderar a informação e mover-se para o próximo passo da análise.

c) **Desenvolver e verificar Conclusões**

No decorrer da coleta de dados, Miles e Huberman (1987) afirmam que o pesquisador começa a observar o significado das coisas: são anotadas frequências, padrões, explicações, possíveis configurações, fluxogramas causais e proposições. No entanto, o pesquisador atento deve garantir que as suas conclusões fiquem incubadas a fim de manter uma postura cética e, ao mesmo tempo, aberta. Caso contrário, essas conclusões prévias podem cegá-lo para evidências futuras. Miles e Huberman (1997) são enfáticos neste item e recomendam que as conclusões finais não devem aparecer antes da conclusão da coleta de dados.

Contudo, tirar conclusões é apenas a metade da operação. As conclusões devem ser também verificadas: seja repensando (através de uma rápida passagem pelas anotações), seja, de maneira mais severa, buscando argumentações e submetendo as questões aos colegas para que se desenvolva um consenso sobre o assunto, ou, de outra forma, através de um extensivo esforço de encontrar outros casos para fazer replicações. Independente do método, a verificação se faz necessária. O significado emergente dos dados tem de ser testado ou se corre o risco de desprezar uma história interessante sobre o assunto pesquisado, mas de veracidade e utilidade duvidosas.

Por fim, é interessante ressaltar que essas três etapas da análise são interativas, formando um processo cíclico e contínuo. A figura 31 representa esse processo de correlação entre as fases:

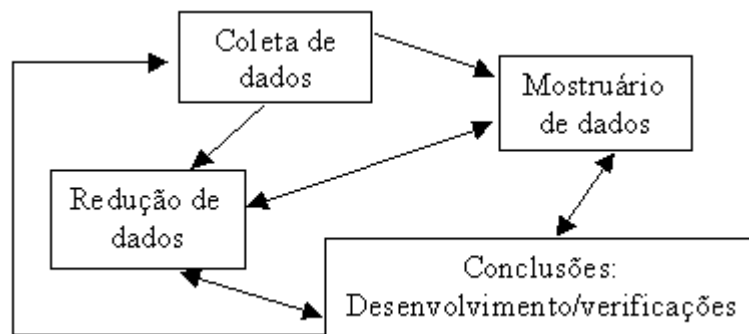


FIGURA 31 – Análise de dados: modelo interativo

Nesse sentido, a análise dos dados qualitativos torna-se um processo iterativo e interativo, no qual o resultado da redução de dados do Mostruário e da conclusão são influenciados uns pelos outros.

3.3.4 REDAÇÃO DO RELATÓRIO

O relatório do estudo de caso pode ser tanto escrito quanto verbal. Ele não tem uma forma de apresentação rígida, como um artigo, sendo necessário que o pesquisador decida quais os pontos relevantes a serem incluídos.

Porém, algumas estruturas são mais recomendadas que outras, dependendo do tipo de estudo de caso que está sendo feito. A fim de orientar o pesquisador, Yin (1994) descreve seis formas diferentes de estrutura como sugestão: analítica – linear, comparativa, cronológica, construção – teoria, suspense e estrutura sem seqüência. O quadro 16 apresenta as seis arquiteturas com os tipos de estudo de caso que poderiam ser aplicadas.

QUADRO 16 – Estruturas de relatórios para tipos de estudo de caso

Tipo de Estrutura	Tipo de estudo de caso		
	Explicativas	Descritiva	Exploratória
Analítica – linear	X	X	X
Comparativa	X	X	X
Cronológica	X	X	X
Construção – teoria	X		X
Suspense	X		
Estrutura sem seqüência		X	

A estrutura analítica – linear é a abordagem tradicional. A seqüência dos itens descreve o assunto do problema a ser estudado, o método utilizado, os resultados da coleta de dados e da análise e as conclusões e implicações dos resultados, sendo que este tipo de relatório é

recomendado para todos os tipos de estudo de caso. Um estudo exploratório, por exemplo, expõe o assunto que está sendo explorado, o método de exploração, os resultados da exploração e as conclusões (para pesquisas futuras).

Na estrutura comparativa, repete-se o mesmo estudo de caso duas ou mais vezes, comparando descrições ou explicações alternativas para o mesmo caso. Enquanto nas arquiteturas cronológica e construção – teoria, a apresentação dos itens dependerá da ordem cronológica das evidências do estudo e da lógica da teoria que se está estudando, respectivamente.

A estrutura tipo suspense é recomendada para estudos explicativos e se diferencia por inverter a abordagem analítica e colocar os resultados e as respostas no capítulo inicial. A idéia é que, a partir deste ponto, passa-se a explicar os acontecimentos.

O relatório sem seqüência é recomendado quando a seqüência dos itens não é relevante, sendo que o leitor poderia até inverter a ordem dos capítulos na leitura que não afetaria o entendimento.

Em suma, Consalter (1999) ressalta que o pesquisador deve elaborar o relatório de forma que este seja claro e contenha todas as informações necessárias para o entendimento do trabalho, de preferência sem rebuscá-lo com jargões acadêmicos ou termos sofisticados.

4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

4.1 INTRODUÇÃO E ESTRUTURA DO CAPÍTULO

Este capítulo expõe a pesquisa de campo, tipo estudo de caso, que coletou os dados das seis empresas estudadas, questionando como elas tratam o assunto abordado para, posteriormente, cruzá-los com as informações contidas na revisão bibliográfica.

Deve-se considerar, portanto, todos os fatores que podem influenciar nas várias etapas do processo produtivo. Somente assim pode-se avaliar a importância de cada tomada de decisão feita pelas empresas.

4.2 OBJETIVO E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa de campo tem por objetivo coletar dados que possibilitem avaliar como é tratado o assunto análise de superfícies usinadas. É importante salientar que a pesquisa não tem o objetivo de demonstrar se as especificações estão corretas ou não, apenas se a metodologia utilizada é coerente e conforme, mesmo porque as empresas entrevistadas são de excelência nas respectivas áreas e não cabe a esta pesquisa criticar seus produtos.

O problema é que tudo pode estar correto: o parâmetro utilizado; o valor especificado; o mais adequado processo de fabricação; bem como a avaliação e o controle serem suficientes. E, apesar de tudo, pode não estar conforme. Para ilustrar esta proposição, imagine-se que o projetista, ao especificar a textura, espere que esta seja avaliada com rugosímetro em determinada condição de contorno, usando apalpador óptico e $\lambda_c = 0,8$, por exemplo. No entanto, a superfície é avaliada por um apalpador mecânico de raio de ponta $10 \mu\text{m}$ e $\lambda_c = 0,08$

ou até mesmo por inspeção visual. O produto fabricado nessas condições pode não corresponder ao esperado pelo projetista pelo fato de ele não conhecer o procedimento de avaliação.

Outro exemplo seria o caso de não se ter um procedimento padrão de avaliação. Se a condição de contorno varia de avaliação para avaliação, o resultado também irá variar e, conseqüentemente, o controle ficará prejudicado. Por mais rígido que ele seja, existe a possibilidade de se aprovar uma peça não conforme.

O que se pretende avaliar é se as informações a respeito da condição da superfície são bem transmitidas entre os vários setores da cadeia produtiva do componente. E se, além disso, existe um procedimento padrão que assegure a repetibilidade da produção. Isto é exatamente o que estabelece normas de qualidade, tal como a ISO 9001 (ABNT, 2000), conforme ilustra-se a seguir.

“O fornecedor deve estabelecer, documentar e manter um sistema da qualidade como meio de assegurar que o produto está em conformidade com os requisitos especificados.”

NBR / ISO 9001/1994 – item 4.2.1 Generalidades (ABNT, 2000)

“... O fornecedor deve levar em consideração as seguintes atividades, como apropriado, no atendimento aos requisitos especificados para produtos, projetos ou contratos:

c) assegurar da compatibilidade do projeto, do processo de produção, da instalação, dos serviços associados, dos procedimentos de inspeção e ensaios e da documentação aplicável;

d) atualização, quando necessária, das técnicas de controle da qualidade, de inspeção e de ensaio, incluindo o desenvolvimento de nova instrumentação;

g) esclarecimento de padrões de aceitabilidade para todas as características e requisitos, inclusive aqueles que contenham um elemento subjetivo;”

NBR / ISO 9001/1994 – item 4.2.3 Planejamento da qualidade (ABNT, 2000)

4.3 SELEÇÃO DA AMOSTRA

É necessário lembrar o que se discutiu no item 3.3.1, onde foi exposto que a escolha dos casos (empresas estudadas) não se comporta como uma amostragem e sim como experimentos independentes. Assim, a seleção das empresas faz parte da modelagem da pesquisa e será alvo do próximo item.

No entanto, a amostragem é uma prática necessária para selecionar, entre os vários funcionários de cada empresa, aqueles com os quais se realizaria a entrevista. Como técnica, foi utilizada a amostragem indicada, que nos conduz até a pessoa considerada mais recomendada para responder as questões da pesquisa.

4.4 DELINEAMENTO - MÉTODO

Este item apresenta o método utilizado para a pesquisa específica, não se dissertando sobre os conceitos e técnicas alternativas, uma vez que isto já foi discutido no item anterior. Para a presente pesquisa, seis casos (empresas) foram selecionados, com o objetivo de trazer à tona o maior número possível de características de funcionamento da indústria metal-mecânica. O trabalho não tem como proposta e nem pretensão fazer uma inferência estatística de todo o setor, mas sim mostrar situações que podem estar ocorrendo em algumas dessas empresas.

Como critério para a orientação da escolha desses seis casos, utilizou-se a recomendação de Gil (1987), quando direciona a seleção para casos extremos. Selecionou-se, inicialmente, quatro empresas: uma com baixo nível de preocupação com textura (EMPRESA 2); uma com alto nível (EMPRESA 4); uma com nível mediano tendendo a baixo (EMPRESA 1); e uma com nível mediano tendendo a alto (EMPRESA 3). Era esta a expectativa inicial, antes da pesquisa, premissa que poderia inclusive estar equivocada. Porém, era a orientação que se tinha no momento e que, posteriormente, seria confirmada.

As duas últimas empresas foram selecionadas mais tarde com o intuito de salientar a influência de uma condição razoavelmente comum: na EMPRESA 6, o setor de projeto fica afastado da empresa e na EMPRESA 5, fica próximo. Para melhor evidenciar este efeito, optou-se por duas empresas relativamente similares; no caso, as duas são de mecânica pesada e não têm produção seriada. Entretanto, isso acabou trazendo um inconveniente, pois na empresa que tem projeto externo, a coleta de dados não foi completa, uma vez que as questões relacionadas ao projeto não puderam ser respondidas.

4.4.1 QUESTÕES DO ESTUDO

O que se pretende avaliar nesta pesquisa são os “como” e os “quais”:

- Como se define qual superfície é a mais adequada para um determinado componente?
- Como é feita a especificação em projeto?
- Como se seleciona o processo de fabricação mais recomendado?
- Como são feitas a avaliação e o controle da superfície?
- Quais são os meios de informação para uma tomada de decisão?
- Quais as carências do meio fabril em relação à tecnologia de superfície?

4.4.2 PROPOSIÇÕES DO ESTUDO

Ao iniciar esta pesquisa, esperava-se que nas empresas em que a condição da superfície não fosse crítica, isto é, não tivesse grande influência no desempenho do produto, ocorresse um controle bem rudimentar. Entende-se por controle rudimentar o uso de técnicas de avaliação de baixa resolução, tal como inspeção visual ou a utilização de instrumentos de boa resolução, mas aceitando-se variações consideráveis dos indicadores.

Por outro lado, nas empresas em que o acabamento da superfície é crítico em alguma situação, a expectativa seria de encontrar um esquema rígido e bem delineado de como proceder

a avaliação e controle das superfícies. Esta consideração fundamenta-se no fato de que uma variação no procedimento de avaliação pode alterar significativamente o resultado da medição, conforme exposto no item 4.2, podendo até invalidar as condições de controle. Condições estas que também deveriam ter critérios bem definidos para garantir a não aprovação de peças fora do especificado.

Finalmente, acreditava-se encontrar, na prática geral, projetos com condições conservativas, permitindo certa variação na cadeia produtiva do componente, sem prejudicar o desempenho do produto.

4.4.3 UNIDADE DE ANÁLISE

A unidade de análise selecionada para esta pesquisa é:

“Metodologias utilizadas pela empresa no trato do assunto análise de superfícies usinadas.”

4.4.4 LIGAÇÕES LÓGICAS ENTRE OS DADOS E OS PROPÓSITOS. CRITÉRIO DE INTERPRETAÇÃO E CONCLUSÃO

A ligação lógica entre os dados e o propósito foi feita através de padrões de comparação. Esses padrões foram estabelecidos em condições que o pesquisador considerou ideais, nos quais se garantiria a operação, assegurando a repetibilidade da produção. E, além disso, as informações deveriam ser transmitidas com eficiência entre os diversos setores da cadeia produtiva. Com base na aderência a estes padrões, avaliou-se a coerência de como é tratada a tecnologia de superfície nas empresas. A seguir, estão listados estes padrões de comparação:

QUADRO 17 – Padrões de comparação

1	CARACTERIZAÇÃO DO NÍVEL DE PREOCUPAÇÃO COM TEXTURA:
1.1	Não se tolera variação na condição da superfície
1.2	Existe uma alta preocupação declarada do corpo técnico com relação à condição da superfície

1.3 Outros

2 PADRÃO TEXTURA:

2.1 Existe uma sistemática clara de como proceder para definir e especificar a textura

2.2 Decide-se especificar a superfície, baseando-se na função (solicitação) que ela exerce no componente

2.3 Existe fundamentação teórica para a escolha do tipo (definição) de textura que a superfície deve apresentar; dos seus parâmetros de textura e de sua mensuração

2.4 São feitas experimentações para a escolha do tipo (definição) de textura que a superfície deve apresentar; dos seus parâmetros de textura e de sua mensuração

2.5 Quais os indicadores de textura usados na empresa

2.6 Correlaciona-se o estado final da superfície projetada com o desempenho do componente

2.7 São avaliados os limites críticos (superior e inferior) de variação aceitável do parâmetro

2.8 O projetista conhece as condições e procedimentos de avaliação

2.9 O projetista participa da escolha do processamento que o componente será submetido

2.10 Existe uma sistemática clara de como proceder para se escolher a melhor condição para a obtenção da textura especificada. É como exemplifica a metodologia proposta por Mesquita (1992), onde corpos de prova são produzidos através de várias seqüências de operação e depois confrontados com o especificado, para se decidir qual a seqüência mais adequada.

2.11 Utiliza-se do histórico da empresa ou de bibliografia especializada para se fundamentar a decisão de qual a melhor condição para se obter a textura especificada

2.12 Fabricam-se corpos de prova, lotes ou peças piloto para verificar qual a melhor condição de obtenção da textura especificada

2.13 Existe uma sistemática clara de como proceder para a avaliação da textura especificada.

2.14 Existe um padrão de escolha das condições de avaliação de textura:

2.14.1 *Cutoff*

2.14.2 Direção de medição

- 2.14.3 Tipo de apalpador
 - 2.14.4 Número de medições por superfície
 - 2.15 Quanto à qualificação dos técnicos e responsáveis pela execução da avaliação: se existem treinamentos em metrologia, em operação do rugosímetro ou de outro equipamento
 - 2.16 Quanto ao uso de avaliação visual: são avaliadas apenas as superfícies com grau de criticidade baixo, devendo ser clara a regra para se decidir se a peça deve ser avaliada por medição ou por avaliação visual
 - 2.17 O controle de processo ou a amostragem são delineados através de métodos estatísticos ou determinísticos, fundamentados no histórico da empresa, ou ainda, por experimentação
 - 2.18 O projetista participa das tomadas de decisão do setor de controle
 - 2.19 Quando a textura é crítica, segregam-se as peças com anomalia. Quando a textura não é crítica, somente corrige-se o processo, liberando-se as peças
- 3 PADRÃO INTEGRIDADE:**
- 3.1 Quais os indicadores de integridade usados na empresa
 - 3.2 Decide-se especificar a integridade da superfície com base na função (solicitação) que ela exerce no componente e/ou nos defeitos que o processo pode causar.
 - 3.3 O procedimento de avaliação dos indicadores de integridade é claro e conhecido, inclusive pelos projetistas
 - 3.4 Correlaciona-se o estado final da superfície projetada com o desempenho do componente
 - 3.5 O controle de processo ou a amostragem são delineados através de métodos estatísticos ou determinísticos, fundamentados no histórico da empresa ou através de experimentação

4.5 COLETA DE DADOS

Foram entrevistados os responsáveis pelas áreas de projeto, processo, metrologia e controle em seis empresas do setor metal-mecânico, totalizando 20 entrevistados, com a distribuição apresentada no quadro 18.

QUADRO 18 – Perfil dos entrevistados

EMPRESA 1 – Setor que trabalha	Formação	Respondendo sobre
Entrevistado 1 – Processo	Engenheiro Mecânico	Projeto, processo e metrologia
Entrevistado 2 – Projeto	Técnico	Projeto
Entrevistado 3 – Processo	Técnico	Processo e metrologia
EMPRESA 2 – Setor que trabalha	Formação	Respondendo sobre
Entrevistado 1 – Projeto	Engenheiro Mecânico	Projeto, processo e metrologia
Entrevistado 2 – Processo	Técnico	Projeto, processo e metrologia
EMPRESA 3 – Setor que trabalha	Formação	Respondendo sobre
Entrevistado 1 – Processo	Engenheiro Mecânico	Projeto, processo e metrologia
Entrevistado 2 – Projeto	Engenheiro Mecânico	Projeto
Entrevistado 3 – Projeto	Engenheiro Mecânico	Projeto
Entrevistado 4 – Metrologia	Técnico	Metrologia
Entrevistado 5 – Metrologia	Técnico	Metrologia
EMPRESA 4 – Setor que trabalha	Formação	Respondendo sobre
Entrevistado 1 – Gerente industrial	Engenheiro Mecânico	Projeto e metrologia
Entrevistado 2 – Projeto	Engenheiro Mecânico	Projeto
Entrevistado 3 – Metrologia	Técnico	Metrologia
Entrevistado 4 – Processo	Técnico	Processo
EMPRESA 5 – Setor que trabalha	Formação	Respondendo sobre
Entrevistado 1 – Projeto	Engenheiro Mecânico	Projeto
Entrevistado 2 – Processo	Engenheiro Mecânico	Processo
Entrevistado 3 – Metrologia	Técnico	Metrologia
EMPRESA 6 – Setor que trabalha	Formação	Respondendo sobre
Entrevistado 1 – Processo	Engenheiro Mecânico	Processo
Entrevistado 2 – Metrologia	Técnico	Metrologia (Integridade)
Entrevistado 3 – Metrologia	Técnico	Metrologia (Textura)

As entrevistas foram gravadas, transcritas e remetidas aos entrevistados para apreciação. Dessa maneira, possibilitou-se que eles efetuassem eventuais alterações julgadas necessárias, garantindo, assim, que as informações passadas fossem coerentes com as práticas da empresa. Finalmente, essas transcrições serviram de base para a análise dos dados, como será descrito em seguida. Vale esclarecer que o processista (entrevistado 4) da EMPRESA 4 solicitou que sua entrevista não fosse utilizada como base deste trabalho de dissertação. Assim, a análise da EMPRESA 4 limitou-se às informações de projeto e avaliação e controle.

4.6 ANÁLISE DOS DADOS

Da transcrição da entrevista, foram destacados textos relacionados com os padrões definidos anteriormente. Destes textos, foram extraídas as conclusões sobre o item em questão, procurando, sempre que possível, estabelecer uma condição de afirmação ou negação do item.

Para entender melhor este processo, observe-se o exemplo a seguir:

1º passo – Selecionar um padrão de análise:

Item 2.14.2. – Existe um padrão de escolha das condições de avaliação de textura:
Direção de medição.

2º passo – Destacar da transcrição da entrevista trechos relacionados com o padrão selecionado:

Trecho 1

ENTREVISTADO 4 - ...Procedimento padrão, eu diria que não existe. Como fazer a medição de rugosidade. Essa experiência, ela existe em todos os metrologistas - vamos dizer assim. Eles sabem operar o equipamento. Sabem escolher uma região pra fazer a medição, né! (sic) Só que não existe algo documentado.

Trecho 2

Calil - Uma coisa (sic) mais: a direção de medição, como vocês decidem pela direção?

ENTREVISTADO 5 – Geralmente, no sentido perpendicular ao sentido da usinagem, do corte, né! (sic) E seria isso.

Trecho 3

ENTREVISTADO 5 - Outra maneira, digamos assim, como você citou: a gente (sic) não tem aqui peças polidas, é muito difícil, mas para identificar esse sentido de medição seria a de analisar conforme o uso. Onde essa peça vai ser usada, se ela vai ter atrito com outra determinada superfície? Você teria algum sentido caracterizado lá no campo, para fazer a medição.

3º passo – Conclusões sobre o item em questão:

Afirmação do padrão: não existe norma, mas há padronização – a avaliação é feita perpendicular à direção de corte ou perpendicular à direção de uso, não havendo direção preferencial.

4º passo – Apresentação dos resultados:

É fundamental que se consiga visualizar de forma sistêmica os resultados da pesquisa. De outra forma, poder-se-ia perder alguma informação ou correlação entre elas. Neste trabalho, optou-se pela disposição em planilhas, que possibilitam a visão global do quadro de cada empresa, bem como a comparação entre elas, conforme pode-se observar no próximo item.

4.7 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Das 20 entrevistas realizadas, extraiu-se aproximadamente 180 páginas de transcrição, tornando-se praticamente impossível fazer uma análise conclusiva diretamente destes dados não tabulados, pois correr-se-ia o risco de se realizar análises infundadas. Para evitar estes inconvenientes, foi feito o processamento dos dados pela sistemática descrita no item anterior, extraindo-se os pontos mais importantes e resumindo-os no quadro a seguir.

QUADRO 19 – Apresentação dos resultados

	EMPRESA 1	EMPRESA 2	EMPRESA 3	EMPRESA 4	EMPRESA 5	EMPRESA 6
Item 1.1	Preocupação baixa – critério subjetivo – não se permitem grandes desvios	Dependendo da situação aceita peças fora do especificado - Uso praticamente só de avaliação visual	Não se rejeitam pequenas variações – apenas corrige o processo	Dependendo do caso pode aceitar peças fora do especificado, desde que analisadas pela engenharia	Preocupação baixa - permite razoável variação	-
Item 1.2	-	O produto não está no limite de aplicação	Rugosidade nunca foi problema	Inspeção 100% na linha é obrigatória por lei - Engenharia mostra ter preocupação com o assunto	Declaradamente não tem preocupação	-
Item 1.3	A textura é importante para o desempenho do produto	Preocupação baixa - uso de classe de rugosidade (N5, N6) Basicamente – avaliação visual	-	-	-	Preocupação baixa – Notação em triângulo

Item 2.1	-	-	-	Sim – em projeto assume superfície perfeita e depois verifica os problemas resultantes dos defeitos na superfície	-	Todo o projeto é externo
Item 2.2	Baseia-se na tolerância e na função	Baseia-se na função	Comprou tecnologia - Baseia-se na função e em experimentação	Baseia-se na função	Baseia-se na função e na tolerância	-
Item 2.3	Exigência do cliente ou da matriz - Baseia-se em experimentação e na tolerância	Normas, experiência, catálogos de fabricante e exigência do cliente	Comprou tecnologia - Baseia-se no Histórico – Acredita que os valores dos parâmetros foram baseados no que o processo era capaz	Baseado em norma interna	Baseia-se no histórico, bibliografia, normas e experiência do projetista	-
Item 2.4	Geralmente só empirismo – “não consegue por bibliografia” - Tanto em relação ao tipo de textura quanto o valor do parâmetro	-	Decide-se basicamente através de experimentação	-	Não	-
Item 2.5	R_z , $R_{máx}$, Direção de raias, Altura de raias	Polido, Classe de rugosidade (N5, N6...)	R_a - Utiliza-se t_p para outros fins, mas não especificado em projeto	R_a e W_t	R_a	Notação em triângulo, R_a

Item 2.6	Retorno do campo - Teste em laboratório - Desdobramento das causas das informações experimentais	Não – geralmente o cliente exige o acabamento, que é de onde se tem o <i>feedback</i> do mercado.	Teste em laboratório - Inspeção em produto acabado e Retorno do campo	Teste em laboratório – produto em operação extrema	Não é feito teste de desempenho, baseia-se no histórico de falha	É feito pela empresa projetista
Item 2.7	Em alguns casos sim	Não	Comprou tecnologia - É avaliado se a peça funciona na condição de projeto ou não	-	Não	-
Item 2.8	-	É por controle visual	Não existe norma, mas é padronizado	Não– avaliação por conta do processo	Sim, existe uma norma interna de avaliação	Existe norma
Item 2.9	Sim	Sim – o projetista tem autonomia de especificar o processo de fabricação	Comprou tecnologia	Não	Não especifica em desenho, mas opina sobre o processo de fabricação	-
Item 2.10	Baseia-se na experiência do Processista - Colocou-se um processo a mais na linha, mesmo sabendo que não é fundamental para cumprir a especificação	Não – varia com a situação	Comprou tecnologia	-	Não	Pela experiência do processista
Item 2.11	Histórico, experimentações e experiência do processista	Exigência do cliente - Baseia-se no histórico e na opinião dos operadores na produção	Comprou tecnologia e baseia-se em experimentação	-	Baseia-se na experiência do projetista	Baseado na experiência

Item 2.12	Não – Baseia-se no histórico da empresa	Não	Baseia-se em experimentação	-	Somente quando o número de peças a fabricar é grande	Existe em try out
Item 2.13	Não – Depende da situação	Não	Não existe norma, mas é padronizado	-	Sim, existe uma norma interna de avaliação	-
Item 2.14.1	-	-	Sim – salvo casos excepcionais, onde o operador decide qual <i>cutoff</i> utilizar	Não – fica a critério do técnico	Sempre o mesmo	Baseado em norma interna
Item 2.14.2	-	-	Não existe norma, mas é padronizado – perpendicular ao corte e perpendicular à direção de uso	Em várias direções - A critério do técnico	Sempre Perpendicular ao corte	Perpendicular as raias ou aleatório (quando sem raias)
Item 2.14.3	Apalpador intrínseco do equipamento	-	Sempre a mesma	3 tipos - Escolha pelo acesso à peça	Intrínseca	Intrínseca do equipamento
Item 2.14.4	Não tem critério padrão	-	Não	A critério do técnico	A critério do técnico	-
Item 2.15	A Empresa garante que o operador está apto, pela experiência que tem	A Empresa garante que o OPERADOR está apto, por sua experiência	Treinamento – mas não existe um acompanhamento do técnico	Treinamento de como operar o equipamento mas não em textura	Experiência própria	Experiência própria
Item 2.16	Regra subjetiva	Excepcionalmente utiliza-se do rugosímetro – regra não clara	Não usa	Regra clara - Na metrologia, só rugosímetro / Na produção – rugoteste e rugosímetro	Regra clara	Regra subjetiva

Item 2.17	Existe norma - A critério do operador ou segue a norma	Baseado em norma interna	Baseado na implantação do processo	Inspeção 100% na linha	Baseado em norma interna	Indicado na folha de auto inspeção - Baseado em experiência
Item 2.18	-	Relatório de anomalia avaliado pela engenharia	-	Relatório de anomalia avaliado pela engenharia	Relatório de anomalia avaliado pela engenharia, inclusive pelo projetista	Pelos processistas - Quando não se consegue alcançar os valores especificados a EMPRESA 6 emite um documento para a projetista pedindo que altere o projeto
Item 2.19	Critério Subjetivo - não se permite grandes desvios	Relatório de anomalia avaliado pela engenharia	Não rejeita pequenas variações - apenas corrige o processo	Relatório de anomalia avaliado pela engenharia	Relatório de anomalia avaliado pela engenharia	-
Item 3.1	Teste de desempenho, de vida. Em peças externas a integridade garantida pelo fornecedor. Faz-se líquido penetrante em uma peça retificada	-	Não faz avaliação da integridade - Em peças externas a Integridade é garantida pelo fornecedor	Líquido penetrante, partícula magnética, teste de condutividade elétrica, Raio-X, ultra som, eddy currents (corrente parasitas)	Líquido penetrante, partículas magnéticas e o visual	Verificação de trinca - máquina fluxo ou líquido penetrante
Item 3.2	Baseado nos defeitos que o processo pode causar	-	-	Baseia-se na função (solicitação)	Existe normas internas e baseado no histórico de falha	Baseado nos defeitos que o processo pode causar
Item 3.3	-	-	-	É definido em norma	Existem normas internas	Existem normas internas
Item 3.4	Faz-se teste de desempenho do produto montado	-	São feitos testes de desempenho do produto	Teste em laboratório - produto em operação extrema	Não é feito teste de desempenho e baseia-se no histórico de falha	É feito pela projetista

Item 3.5	De modo não constante – esporádico	-	-	Controla os parâmetros de processo e garante os efeitos de integridade, para o caso de tensões residuais. – A avaliação e feita esporadicamente, quando desconfia-se de uma não conformidade. Na linha - líquido penetrante inspeção 100%	Onde exigido	De acordo com tabela de inspeção
Item 4	Opinião Projeto – Ele acredita que a metodologia é muito teórica e no caso deles a experimentação (empirismo) é fundamental	Opinião Geral – processo muito moroso para ser implementado em uma fábrica Opinião Geral – talvez seja válido quando o produto estiver no limite de operação, que não é o caso da EMPRESA 2	Opinião Projeto – Acha interessante o fato de existir uma metodologia mas precisaria estudá-la mais a fundo para dizer se é válida. Opinião Fabricação - Seria válido mas não pela confrontação do fabricado (avaliado) com o especificado, mas com a função (o desempenho do produto)	Opinião Projeto – A empresa já tem muitas normas desenvolvidas através dos anos..	Opinião Projeto – Seria válido para condições de projetos novos Opinião Fabricação – Somente quando se tem lotes maiores ou produção seriada	Opinião Fabricação – Deve-se ponderar se a mudança traz redução de custo

4.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados da tabela anterior confirmam as expectativas quanto ao grau de preocupação das empresas em relação à condição da superfície.

A observação dos três primeiros itens listados na tabela de resultados permite deduzir que a EMPRESA 2 possui uma preocupação muito baixa em relação à condição da superfície. Note-se, inclusive, que ela especifica a textura por classe de rugosidade e permite alguma variação no resultado da condição da textura. Deve-se observar que praticamente não é realizada uma avaliação com instrumentos de medição, mesmo porque não existe uma regra clara de quando utilizá-los. Basicamente, o controle é feito através de avaliação visual, sem bloco padrão como referência – o operador decide se a peça está ou não conforme, pela vivência que ele tem com o processo produtivo. Esta é uma característica bastante comum em processos artesanais, mesmo porque a produção não é seriada, mas em lotes muito pequenos ou até peças únicas.

Outro aspecto diz respeito à relação do projetista com o cliente, que é bastante próxima. Via de regra, é o cliente quem solicita qual a condição da superfície desejada. Em outras situações, como no caso de especificação do eixo para acoplar um rolamento, a orientação é feita pelo fornecedor do rolamento, deixando os projetistas numa posição cômoda em relação à textura.

Outra característica desta empresa é a proximidade entre as áreas de processo e projeto. É muito comum o processo de fabricação estar especificado em projeto, baseado no solicitado pelo cliente ou no histórico da empresa, juntamente com a experiência do corpo técnico. Vale salientar o relato do processista, destacando o fato dos operadores também opinarem na decisão da seqüência de operações – são os mesmos operadores que fazem o controle visual da textura.

Outro ponto a ser observado é que os produtos fabricados são bastante robustos, não estando próximos do limite de aplicação, permitindo que se varie um pouco o resultado da superfície, sem prejudicar o seu desempenho, ou levando a um prejuízo aceitável. Esta, inclusive, é uma condição comum às empresas estudadas, confirmando uma expectativa anterior ao início da pesquisa, a de que os projetos seriam conservativos, com grande coeficiente de segurança. Mesmo a EMPRESA 4, que assegurou ter grande preocupação com textura, demonstra na pesquisa que tem projetos distantes dos limites de aplicação, chegando a analisar se uma superfície, que está além do especificado, pode ser aceita.

A EMPRESA 4 tem a condição da superfície como uma característica crítica para o bom desempenho do seu produto. A falha em um dos componentes, por uma condição não conforme da textura, pode levar a acidentes fatais, como recentemente ocorrido por fadiga. Por isso a produção deve, por lei, ser avaliada em 100%.

A EMPRESA 4 ilustra outro ponto que vem sendo enfatizado neste trabalho e que, na opinião do autor, é de fundamental importância: a coerência entre o especificado com o avaliado e controlado. A avaliação da textura acaba ficando por conta do processo, que não tem um procedimento padrão para a executar a medição. A primeira consequência disto é o fato de os projetistas desconhecerem as condições de contorno da avaliação, tais como *cutoff*, direção de medição e outros. Condições estas que podem alterar o resultado da medição, conforme visto no item 2.2, abrindo-se a possibilidade de se produzir superfícies diferentes das vislumbradas pelo projetista. Outra consequência é a possibilidade de se avaliar peças da mesma linha de produção através de diferentes condições de contorno. É o que pode ocorrer, por exemplo, na troca de turno, em que cada um dos responsáveis possui praxes diferentes. Isso pode causar variações na condição de controle, pois alterações na avaliação podem modificar o resultado da medição. Uma peça que até então estava sendo aprovada pode passar a ser rejeitada, ou vice - versa.

Um agravante a esta situação, é o fato do entrevistado responsável pela medição não ter conhecimento específico em relação à textura, sabendo apenas como operar o equipamento – no caso, um rugosímetro. Assim, é possível que ele não tenha condições de ponderar que influência no resultado teria uma variação do procedimento de medição, o valor do *cutoff*, por exemplo.

Com relação à EMPRESA 3, ocorre um fato interessante: ao ser concebida, a empresa comprou tecnologia, trazendo todas as especificações e operações do processo produtivo. Desde então, pouco se questionou sobre as praxes vigentes. Isso porque, de acordo com os engenheiros da empresa, nunca se teve problemas com a condição da superfície. Acrescentando-se, ainda, o fato dos projetos optarem por condições conservativas, tudo leva a crer que a empresa não se preocupa muito com a condição da superfície, que no entanto tem reconhecidamente influência no desempenho dos seus produtos. Assim, observando os três primeiros itens da lista de resultados, pode-se ter a impressão de que a EMPRESA 3 tem um baixo nível de preocupação com a condição da superfície. Possuindo uma situação bastante cômoda, preocupa-se apenas com a textura, uma vez que a integridade não apresenta problemas nos processos internos da fábrica. Quando a peça vem de terceiros, é garantida pelo fornecedor, isentando a EMPRESA 3 de avaliação de integridade.

A especificação da textura sempre esteve superdimensionada. Recentemente, no entanto, com a redução dos coeficientes de segurança, no sentido do aumento da eficiência e redução de custos, a EMPRESA 3 vêm se deparando com alterações no processo produtivo que fatalmente exigem uma análise mais rígida do acabamento da superfície. Isso fica evidente no depoimento de dois engenheiros a respeito de uma tentativa de se eliminar uma operação da linha de produção. Apesar de se ter conseguido atingir a condição exigida pelo projeto, o produto apresentou desempenho inferior, sendo que a alteração foi descartada. Diante disto, pode-se

observar que há uma crescente preocupação com a condição da superfície, em razão da competição por mais espaço no mercado.

Outro aspecto que se destaca na EMPRESA 3 é o fato de ela correlacionar o desempenho do produto diretamente com sua condição de fabricação, sem se prender muito ao desenho. É o que se conclui da situação descrita anteriormente, em que a modificação no processo produtivo foi rejeitada apesar de atender à especificação em desenho. Vale ressaltar o depoimento dos processistas ao serem questionados sobre a metodologia de Mesquita (1992): respondem que seria interessante produzir peças através de vários processos de fabricação diferentes, não para ver quais aderem melhor à especificação do desenho, mas sim para melhorar o desempenho. Este fato salienta um problema já discutido na revisão bibliográfica deste trabalho: a dificuldade de se correlacionar textura com a função. Assim, ao invés de se tentar entender como cada alteração na textura influencia no desempenho do componente, preferiu-se partir para o empirismo, levando mais em consideração seu processo de fabricação que a própria especificação. O processista acredita até que as especificações de projeto foram baseadas na capacidade do processo. Assim, se o componente produzido satisfizer as necessidades do produto, essa condição transforma-se em especificação.

No que diz respeito à avaliação e controle, a EMPRESA 3 também se mostrou bastante coerente, tendo um procedimento padrão para as situações corriqueiras e um corpo técnico bastante qualificado, no que concerne à textura. No entanto, estes procedimentos não estão documentados, o que seria uma grande contribuição para a garantia da qualidade do produto.

A EMPRESA 1 tem uma situação muito similar à da EMPRESA 3, apresentando baixo nível de preocupação com a condição da textura, apesar de ser importante para o desempenho do produto. Outro ponto em comum é que ambas se baseiam em experimentação para auxiliar nas

tomadas de decisão. O projetista salienta que é muito comum não conseguir especificar baseando-se em bibliografia ou em outra fonte que não a experimental.

Além disso, a EMPRESA 1 também se mostra mais atenta na relação do produto fabricado com o seu desempenho do que com a especificação propriamente dita. É o que se observa em duas situações durante as entrevistas. Na primeira, o processista relata que é feito um processo de superacabamento, mesmo não sendo necessário para atender às exigências do desenho. Na outra, o assunto não está relacionado com textura, mas ilustra bem a filosofia de trabalho, como mostra o trecho da transcrição a seguir:

" ENTREVISTADO 3: Problemas: nossos problemas são com furos cegos. Acabamento... paralelo, né (sic), externos e furos passantes, nós não temos problemas. E nós temos furinhos de 8 'graças a Deus' (sic) tiramos. Furos de 8, furos cegos com três... Com quanto? Com 25 milímetros de profundidade. Ainda com furos cruzando ele, né.(sic) Tínhamos que tirar com um milésimo de erro de forma e conicidade... Erro de forma um milésimo e rugosidade 4 microns.

CALIL: Com certeza, vocês faziam até melhor do que 4 microns pra ter um erro de forma tão pequeno.

ENTREVISTADO 3: Sim.

ENTREVISTADO 1: O erro de forma nunca conseguimos.

ENTREVISTADO 3: Não conseguia. Aí é que está. Colocaram no papel há vinte anos atrás, uma coisa que não precisava. O que já se gastou de dinheiro pra tentar chegar perto e nunca conseguiu fazer funcionar. Eu tenho uma peça dessas na minha mesa. Pra ver se eu consigo convencer os outros a mudar isso daí (sic). Que tira 16 microns de R_z , de acabamento, né.(sic) Agora 3 milésimos de erro de forma.

ENTREVISTADO 1: E a folga entre o embolo é..

ENTREVISTADO 3: E a folga entre o embolo é.. lá, de um décimo. Mas o cara (sic) pede 6 milésimos de erro de forma. E o furo.. é passante mas não... sei lá (sic) não é. Sai de um diâmetro de 11 e depois fica num diâmetro de 6. Então o cavaco fica empastado lá. É uma loucura. Nunca se conseguiu fazer o que se pede no desenho. Mas não tem lógica. Sempre

funcionou. Mas ninguém assume mudar o desenho e colocar como o desenho deveria ser. É uma briga particular. E aí a gente arruma por menores. (sic) Isso aí já faz parte do dia a dia."

Este diálogo mostra como são conservativas as especificações de projeto.

Contudo, a EMPRESA 1 não é tão criteriosa em relação à avaliação quanto à 3, uma vez que não tem procedimento padrão para a execução da avaliação. Usa, inclusive, avaliação visual, sem ter uma regra clara de quando optar por esta técnica ou pela medição com rugosímetro. São dados que demonstram o quanto a EMPRESA 1 tem uma preocupação baixa com textura, apesar desta afetar o desempenho do produto.

Quanto à integridade, o único indicativo controlado na EMPRESA 1 é a presença de trinca em uma peça temperada e retificada através de líquido penetrante. As questões sobre integridade seguem tendências similares às da textura. Já a EMPRESA 4 demonstra maior nível de preocupação, fazendo inspeção 100% e controlando defeitos por vários métodos, tais como líquido penetrante; raio x; ultra som; entre outros.

A segunda intenção desta pesquisa de campo, era de avaliar a diferença no trato do assunto análise de superfícies usinadas, em fábricas que não têm projeto interno, com aquelas que o possuem. De modo geral, as empresas 5 e 6 procedem de maneira similar. Ambas têm baixa preocupação com textura e procedimentos padrão para as fases de avaliação e controle. Entretanto, a EMPRESA 5 ainda mantém a prática descrita em outras empresas analisadas, de correlacionar o produto fabricado diretamente com o desempenho. É o que se conclui quando o projetista comenta que, em uma certa ocasião, o setor de processo lhe perguntou se era necessário fazer "roletamento" (super acabamento) para a fabricação de uma peça de reposição. A indicação dessa operação constava em desenho, mas historicamente não vinha sendo feita, e o desempenho do componente sempre esteve dentro do esperado. A decisão do projetista foi de orientar a produção a não fazer o roletamento, apesar de constar da especificação.

Esta prática não cabe na situação da EMPRESA 6 que executa fielmente as especificações dentro do que ela considera o correto. Assim, se a empresa projetista espera que algum critério seja levado em consideração, deve especificá-lo. Pois, quando não especificado, a EMPRESA 6 procede da maneira mais conveniente a ela, não necessariamente da forma esperada pelo projetista.

No caso de textura, por exemplo, a EMPRESA 6 recebe especificações em R_a ou na notação de triângulos, notação antiga que dá uma orientação qualitativa da textura. O que dá à empresa bastante liberdade de como proceder para fabricar o componente. Outro aspecto da EMPRESA 6 é que sua norma de avaliação é uma tradução da norma da matriz, que faz os projetos, garantindo assim a coerência entre o praticado e o esperado pelo projetista.

Assim, constata-se que nas empresas que não possuem projeto interno, existe uma necessidade muito maior de documentação, uma vez que esta é praticamente a única forma de transferência de informação. Ao contrário, nas empresas com projeto próprio existe uma interação muito maior entre os setores, favorecendo a informalidade na troca de informação. Isto possibilita que um setor influencie na tomada de decisão do outro, como pode ser observado no relato a seguir (EMPRESA 5):

ENTREVISTADO 1: Varia de componente para componente, quando um pouco a engenharia de projeto a quem (sic) tem um pouquinho da engenharia da fábrica, recursos da fábrica. Ela sabe os limites onde tem dúvida, consulta o processo. E onde a engenharia faz alguma coisa que o processo diz que é extremamente dispendioso, a coisa é repensada. Eu posso fazer um desenho e sofrer uma revisão, porque na hora que chegar no processo (sic) todo o desenho, antes de chegar na fábrica, passa pelo processo. O que o processo questiona, alguma coisa é re-discutido.

De maneira geral, observa-se que as empresas estudadas superdimensionam a especificação da condição da superfície (textura e integridade) para garantir o bom

funcionamento do componente. No entanto, recentemente vêm-se deparando com a necessidade de aumento da produtividade e redução de custos, o que as têm obrigado a diminuir o coeficiente de segurança das especificações, sendo necessário reavaliá-las.

Para isso, será necessário um aprofundamento do conhecimento do corpo técnico sobre o assunto, pois os componentes irão começar a trabalhar mais próximo dos limites de operação, exigindo especificações mais rigorosas. Além disso, será necessário repensar a cadeia produtiva do componente para garantir capacidade¹⁵ para tolerâncias menores e também garantir que existirá coerência entre o que se espera e o que realmente é realizado nas várias etapas da cadeia.

Para atender essa última condição é extremamente interessante que se tenha documentado procedimentos, garantindo um padrão de operação nas diversas etapas da cadeia produtiva do componente. Esta é a proposta da metodologia desenvolvida por Mesquita (1992) em relação à especificação e a decisão de qual processo selecionar. Todavia, essa metodologia, na opinião das empresas estudadas, não se mostra muito adequada para aplicação no meio fabril, como será apresentado no próximo item.

4.9 ANÁLISE DA VALIDADE DA METODOLOGIA PROPOSTA POR MESQUITA (1992)

A última etapa deste trabalho consiste na utilização da pesquisa, junto às empresas, para implementar a avaliação da proposta de como proceder para realizar a caracterização da geometria da superfície e a escolha do processo de fabricação mais adequado, isto é, analisar a validade da metodologia proposta por Mesquita (1992).

Surgiu um empecilho inesperado quando se coletou a opinião das empresas sobre a metodologia proposta: os entrevistados tiveram dificuldades para entender os conceitos em questão. Isto ocorreu porque, infelizmente, o tempo de coleta de dados foi relativamente curto e

¹⁵ Capacidade de um dado processo fabricar produtos dentro da faixa de especificação.

não foi possível uma explanação mais minuciosa da metodologia. Outro fator foi a falta de conhecimento, por parte dos entrevistados, de conhecimentos sobre textura. Para o devido entendimento da metodologia, seria necessária uma discussão mínima em torno do assunto. Entretanto, mais uma vez, o tempo foi um fator restritivo, dificultando o repasse de todos os conceitos necessários para sedimentar uma fundamentação mínima para que eles pudessem compreender a metodologia em sua totalidade.

Assim, em algumas empresas a avaliação da metodologia ficou prejudicada. De um modo geral, as empresas selecionadas acharam-na pouco prática, mas que teria validade no desenvolvimento de produtos onde a especificação da superfície fosse inédita. A EMPRESA 2 acrescenta, ainda, a necessidade de que a superfície estivesse próxima dos limites de aplicação, para ser viável a implementação da metodologia. Mesmo assim, considerou a metodologia muito morosa. Outra restrição à metodologia, no que diz respeito à produção de peças por vários processos diferentes, contrastando com o especificado, foi relatada pela EMPRESA 5, que acredita ser válida somente para lotes grandes, sendo inclusive esta a praxe da empresa.

Já a EMPRESA 3 acha que as peças produzidas não deveriam ser confrontadas com o projeto, mas sim com o desempenho do componente.

A diferença entre a prática das empresas e o que prega a metodologia pode ser melhor observada e entendida com o auxílio do quadro a seguir.

QUADRO 20 – Tabela comparativa da prática da empresa com a metodologia proposta por Mesquita (1992)

Etapa	Mesquita (1992)	EMPRESA 1	EMPRESA 2	EMPRESA 3	EMPRESA 4	EMPRESA 5	EMPRESA 6
Escolha de quais superfícies avaliar	Baseado no tipo de solicitação	Baseado no tipo de solicitação	Baseado no tipo de solicitação	Baseado no tipo de solicitação	Baseado no tipo de solicitação	Baseado no tipo de solicitação	Não disponível – todo o projeto é feito na matriz, no exterior
Definição da superfície	Cruzamento das características funcionais com os seis itens de descrição da textura	Não é feito	Não é feito	Não é feito	Não é feito	Não é feito	
Especificação da superfície	Escolha dos parâmetros mais adequados para descrever a textura definida	Utiliza-se de um parâmetro padrão (R_z), ¹⁶	Exigida pelo cliente ou segue padrão interno da empresa (classe de rugosidade)	Comprou tecnologia e com ela toda a especificação	Utiliza-se de um parâmetro padrão (R_a)	Utiliza-se de um parâmetro padrão (R_a)	
Escolha do processo de fabricação	Fabricação de vários corpos de prova para avaliar qual o processamento mais adequado	O processista decide, baseado na sua experiência	Varia com a situação – Processista, projetista e operadores podem participar da decisão	Comprou tecnologia e com ela toda a seqüência do processamento	Não disponível – o processista solicitou que as informações contidas na sua entrevista não fossem utilizadas	Produz-se lotes pilotos para peças com produção em grande escala. O processista decide baseado na sua experiência em pequena escala	O processista decide, baseado na sua experiência

¹⁶ Também foi observado o uso de outros parâmetros nas empresas 1 e 4.

Note-se que todas as empresas baseiam-se no tipo de solicitação para escolher quais superfícies avaliar. Em nenhuma delas, porém, é feito o cruzamento entre as características funcionais com a geometria da superfície. Se uma superfície foi considerada importante para o desempenho do componente, parte-se diretamente para a especificação dela, que via de regra é feita utilizando um parâmetro de textura como padrão para a própria empresa, independente do tipo de solicitação que a superfície esteja sujeita, restando ao projetista estabelecer o valor para o parâmetro. Já a metodologia de Mesquita (1992) propõe selecionar o parâmetro mais adequado para descrever cada característica geométrica da superfície definida, o que muito provavelmente ocasionaria na utilização de mais de um parâmetro de textura para especificar a superfície. Note-se que, estatisticamente, é impossível descrever uma superfície utilizando apenas um parâmetro. Assim, poder-se-ia produzir uma gama enorme de superfícies diferentes com $R_a = 0,8 \mu\text{m}$, por exemplo. Uma superfície torneada e uma retificada podem ter o mesmo valor de R_a , mas o desempenho, quando sujeito a uma solicitação cíclica, certamente será diferente.

Diante disto, a escolha do processo passa a ser um fator muito importante para caracterizar a geometria da superfície. No entanto, não é suficiente para garantir que a superfície fabricada seja exatamente da forma que o projetista espera, já que se pode produzir texturas diferentes com o mesmo R_a através de retífica, por exemplo. Quando se especifica apenas um parâmetro, é altamente recomendável que se estipule também o processo de fabricação, pois é um fator restritivo.

A proposta de Mesquita (1992) recomenda que, para escolher qual o processo de fabricação mais adequado, deve-se produzir corpos de prova e depois confrontá-los com a especificada. O que se aproximar mais será o indicado. Note-se que esta sistemática só faria sentido se a especificação fosse capaz de caracterizar totalmente a superfície. Contraditoriamente, as empresas se preocupam em determinar apenas algumas características.

Isso não significa que as empresas não poderiam proceder da forma relatada por Mesquita (1992), quando a especificação for $R_a = 0,8$, por exemplo. Só que, neste caso, a empresa encontraria vários processos capazes de realizá-los e a seleção de um deles fatalmente seria por um outro fator como produtividade, custo, disponibilidade de máquina, entre outros, tal como pode-se observar no relato do entrevistado 1 da EMPRESA 6, transcrito a seguir:

ENTREVISTADO 1 - Bom, quando nós definimos aqui um processo, nesse caso aqui, olha (sic), eu estou indicando que vou fazer um torneamento, vou deixar sobremetal e vou mandar para um processo posterior de retífica. Existem casos que eu posso fazer o quê? Eu posso não deixar sobremetal para esse torneamento, eu posso acabar... eu posso acabar aqui dependendo do sobremetal, do sobremetal não, da tolerância. Se eu tiver uma tolerância muito aberta, eu não preciso de repente nem retificar, no final, no processo de ... após que ela foi indução. Que às vezes a deformação seja mínima e dá para mim, fazer o quê? (sic) Fazer um torneamento e já deixar acabado o torneamento. Agora pode haver casos que tenham também uma tolerância grande e no final eu não faça uma retífica, eu faço um torneamento de novo. Que nem você falou: realmente acontece isso, eu posso utilizar um inserto de cerâmica ao invés de retificar eu posso fazer um torneamento depois. Então, às vezes, dependendo da carga máquina de retífica, puxa vida (sic), eu estou aumentando um processo de retifica num setor ali que já está uma carga muito alta de retifica, puxa vida (sic), eu preciso de um recurso que eu não retifique, eu pegue e também faça um torneamento e jogue isso num processo de torneamento. Então, tenho condições de alterar isso, por exemplo, onde está indicando três triângulos que poderia ser retificado (sic) eu posso acabar em torno.

Portanto, na opinião do autor deste trabalho, não faz sentido implementar apenas a parte da metodologia referente à fabricação, pois esta só faria sentido somada a uma metodologia capaz de descrever totalmente as características geométricas da superfície em projeto.

Quanto à implementação de toda a metodologia, observou-se que as empresas estudadas consideram que isso seria bastante difícil, pois requereria um conhecimento aprofundado em textura. Mais coerente com a realidade das empresas foi o comentário tecido pelo processista da

EMPRESA 3, ao dizer que deveria-se produzir lotes pilotos pelos mais variados processos e, então, selecionar o que obtivesse o melhor desempenho, dispensando, assim, que se determinassem correlações entre as características funcionais e a geometria da superfície, que, como visto no item 2.5, é de difícil obtenção.

Esse empirismo, de correlacionar processos de fabricação e desempenho, seria certamente muito dispendioso no início, até se conseguir formar uma base de dados que possibilitasse decisões futuras. Isso porque seria necessário estudar caso a caso o comportamento dos componentes. Por outro lado, as empresas que têm mais de um modelo de um mesmo produto poderiam utilizar uma só base para cada tipo de componente.

O autor, portanto, concorda com as empresas estudadas ao constatar que a metodologia seria mais interessante quando se tivessem tipos de solicitações novas a cada instante. Por exemplo, um laboratório de pesquisa, onde também se tem um corpo técnico altamente especializado em tecnologia de superfície.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Diante do apresentado, entende-se que todos os objetivos inicialmente propostos foram devidamente atendidos. Quanto ao nível de preocupação do meio fabril em relação à tecnologia de superfícies, um dos objetivos específicos, ficou evidenciado no item 4.8 que está ocorrendo um significativo crescimento de importância, ao observar-se que as empresas são exigidas a melhorar o desempenho de seus produtos e reduzir os custos.

Em relação ao questionamento das metodologias que as empresas utilizam nas várias etapas da cadeia produtiva da superfície, discutiu-se no item 4.8 a coerência da prática de cada uma das empresas, salientando os pontos positivos e negativos. Em síntese, pode-se destacar que algumas das empresas estudadas não podiam garantir a coerência entre o realizado com o que se esperava que fosse feito, pois não tinham procedimento padronizado para a execução das tarefas relacionadas à superfície. Um exemplo disso é o fato de não se poder garantir a repetibilidade de uma linha de produção se não existir um procedimento padrão para avaliação e controle da superfície.

Outra proposta deste trabalho era identificar as maiores carências do meio fabril em relação à tecnologia de superfícies. Foi possível observar as carências das empresas estudadas, que praticamente resumem-se à falta de informação sobre o assunto, ao despreparo do corpo técnico e à falta de padronização dos procedimentos, como pôde ser observado nas discussões apresentadas nos itens 4.8 e 4.9.

Sobre este aspecto, durante a coleta de dados, o pesquisador pôde alertar as empresas quanto a possíveis não conformidades nas práticas adotadas por elas, fazendo, ainda, recomendações e indicando bibliografias a respeito. Nesse sentido, o trabalho teve como consequência desta pesquisa junto às seis empresas uma troca de informações entre os entrevistados e o pesquisador, fomentando a discussão sobre o tratamento dado à tecnologia de superfície.

Quanto à produção de material técnico orientativo para auxiliar as tomadas de decisões em tecnologia de superfícies, no meio fabril, o item 2.4 deste trabalho trouxe uma orientação inicial de três tipos de solicitação: ajuste com e sem interferência, tribologia e solicitação mecânica cíclica. Vale salientar que a capacitação do corpo técnico sobre o assunto tecnologia de superfície foi a principal carência detectada, sendo necessária a elaboração de material mais completo e direcionado à qualificação do corpo técnico das empresas. É nessa área que se concentram fortemente as indicações para futuros trabalhos.

Por fim, questionou-se a aplicabilidade da metodologia proposta por Mesquita (1992). No item 4.9, demonstrou-se que as empresas estudadas acreditam que metodologias como a da proposta mencionada são de difícil implementação no meio fabril, devendo ser exploradas apenas por órgãos fomentadores de tecnologia.

Verificou-se que as empresas necessitam e desejam a tecnologia pronta, acabada, não se preocupando em investir em desenvolvimento tecnológico, o que comprova a necessidade de maior integração entre centros de pesquisa e o meio fabril.

O material técnico deve ser didático e apresentado de maneira sucinta e clara. Os projetistas não se mostraram dispostos a detalhar a análise da superfície, requisitando que essas informações sejam recebidas já direcionadas para a aplicação prática. Assim, quando vão especificar uma superfície para se fazer um ajuste com interferência não estão interessados em

saber se ela apresenta ranhuras ou se tem picos arredondados, simplesmente querem ter acesso ao parâmetro que deve ser usado e ao processo para se chegar ao seu valor. Essas informações deveriam ser de fácil acesso, por exemplo, nas normas ABNT, porém, existe uma grande carência de normas sobre este assunto.

Para finalizar, pode-se concluir que o método utilizado para fazer este estudo de caso no meio fabril se mostrou adequado, pois como já mencionado, a pesquisa tipo estudo de caso tem como principal benefício a flexibilidade, o que permitiu analisar diferentes tipos de empresas, com vários níveis de preocupação relativos à tecnologia de superfície. É importante salientar que a adoção desta estratégia se mostrou apropriada neste estudo por se tratar do primeiro passo para o entendimento de como vem se tratando tecnologia de superfície no meio fabril, uma vez trata-se de uma pesquisa exploratória. Para a complementação desta pesquisa, talvez seja indicada uma pesquisa tipo *survey*, que permita quantificar e fazer inferências, conseqüentemente facilitando generalizações.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As recomendações, no caso deste trabalho, não se referem unicamente a futuras pesquisas, mas diante do panorama identificado no setor fabril, visam apontar formas de minimizar os problemas identificados. As conclusões expostas no item anterior evidenciam uma carência de material bibliográfico em tecnologia de superfície direcionado para o meio fabril. Recomenda-se que sejam elaboradas, num futuro próximo, publicações como:

- Guia prático sobre análise de textura, subdividido de acordo com as funções que a superfície pode desempenhar. Indicação dos parâmetros mais adequados para cada caso, e de como determinar aos valores para uma dada situação, além de listar as normas já existentes sobre o item em questão;

- Cartilha com os fundamentos básicos sobre textura e integridade; e
- Cartilha com os fatores que influenciam na medição, correlacionando, sempre que possível, com a norma NBR ISO 9001 (ABNT, 2000).

Além destes materiais técnicos, seria relevante a confecção de bancos de dados com informações de desempenho de corpos de prova, produzidos pelos mais variados processos, em relação aos parâmetros de caracterização da superfície recomendados para cada tipo de solicitação.

Também seria interessante que fossem programados seminários, palestras, cursos, *workshops* ou outras formas de transmitir ao meio fabril o que há de mais recente em termos de desenvolvimento tecnológico.

Por fim, recomenda-se que se desenvolvam pesquisas, com base nos dados apresentados neste trabalho, com o intuito de dar continuidade a este estudo de caso. Poder-se-ia realizar levantamentos quantitativos que possibilitem a realização de inferências para os diversos setores do meio fabril.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). *Rugosidade das superfícies*. NBR 6405. Rio de Janeiro, 1988.

_____. *Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos*. NBR 8404. Rio de Janeiro, 1984.

_____. *Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos – NBR ISO9001*. Rio de Janeiro, 2000.

AFNOR (Association Française de Normalisation). *Surface texture of products regulations / 4^o - Economic aspects – E05-018*. Paris, 1969.

_____. *Surface texture of products. Regulations. Determination of measured surface*. AFNOR E05-017. Paris, February 1986.

AGOSTINHO, O. L. et al. *Princípios de engenharia de fabricação mecânica – Tolerância, ajustes, desvios e análise de dimensões*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

ASME. *Exames não destrutivos – Código ASME Seção V*. Trad. do Instituto Brasileiro de Petróleo. Rio de Janeiro, 1983.

_____. *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)*. ANSI/ASME B46.1. 1995.

_____. *Surface Texture Symbols*. ASME Y14.36M. 1996.

BARBOSA FILHO, M. *Introdução à pesquisa: métodos, técnicas e instrumentos*. Rio de Janeiro: Livro Técnico e Científicos, 1980.

BET, L. *Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas ópticas tipo seguidor*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

BOEHS, L. et al. *Análise de superfícies usinadas*. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1992.

BOEHS, L.; BET, L.; MOSTIACK, G. R. Fontes de erros na medição de textura superficial com estilete e sonda óptica. *Máquinas e Metais*, n. 387, abr. 1998.

CAGNIN, C. H. *Fatores relevantes na implementação de um sistema de gestão ambiental com base na norma ISO 1400*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

CASTRO, J.T.P.; MEGGIOLARO, M.A. *Alguns Comentários sobre a Automação do Método eN para Dimensionamento à Fadiga sob Carregamentos Complexos*. RBCM, 1998.

CHIZZOTTI, A. *Pesquisa em ciências humanas e sociais*. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1995. Cap.2.

CONSALTER, L. A. *Desenvolvimento de uma metodologia para o gerenciamento de sistemas de fixação de peças em processos de usinagem fundamentado na padronização e na modularidade*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

CONWAY-JONES, J. M.; EASTHAM D. R. *Parameters for control of roughness of surfaces operating with thin oil film*. In *Tools Manufact.* v.35, n.2, 1995, p. 253-257.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). Tolerancia fundamentales ISO para medidas de longitud – desde 1 hasta 500 mm medida nominal. DIN 7151. In: *Manual DIN 1 – Normas fundamentales para la técnica mecânica*. Editorial Balzola, 1970 .

_____. Cálculo de asiento prensado sencillos. DIN 7190. In: *Manual DIN 1 – Normas fundamentales para la técnica mecânica*. Editorial Balzola, 1970.

_____. *Roughness Comparison Specimens–Technical Conditions of Delivery – Application. DIN 4769 Part 1*. Berlim, maio, 1972 a.

_____. *Roughness Comparison Specimens – Surfaces Produces by Cutting with Periodic Profile. DIN 4769 Part 2*. Berlim, maio, 1972 b.

_____. *Roughness Comparison Specimens – Surfaces Produces by Cutting with Aperiodic Profile. DIN 4769 Part 3*. Berlim, maio, 1972 c.

_____. *Surface character. Geometrical characteristics of texture. Terms/definitions, Symbols. DIN 4761*. Berlim: Beut, dez., 1978.

_____. *Hertellverfahren der Rauheit von Oberflächen. DIN 4766 Teil 1*. Berlim mar. 1981 a.

_____. *Hertellverfahren der Rauheit von Oberflächen. DIN 4766 Teil 2*. Berlim, mar. 1981 b.

_____. *Form deviations. Concepts. Classification system. DIN 4760*. Berlin: Beut, jun., 1982.

_____. *Technical drawings – Method of indicating surface texture. DIN ISO 1302*. Genebra, 1992.

DOBROVOLSKY, V. et al. *Machine elements - a textbook*. 3. ed. Moscow: Peace Publishers, 1980.

FAIRES, V. M. *Elementos de orgânicos de máquina*. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1983.

FERRARESI, D. *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1987. cap. 4, 5 e 10.

HUDELSON, P. M. *Qualitative research for health programmes*. Genebra: World Health Organization, 1994.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). *Roughness comparison specimens – Part 1: Turned, ground, bored, milled, sharpened and planed*. ISO 2632/1. Genebra, 1975.

_____. *Roughness comparison specimens – Part 2: Spark-eroded, shot-blasted, grit-blasted, and polished*. ISO 2632/2. Genebra, 1977.

_____. *Roughness comparison specimens – Part 3: Cast surfaces*, ISO 2632/3. Genebra, 1979.

_____. *Classification of instruments and devices for measurement and evaluation of geometrical parameters of surface finishing*. ISO 1878. Genebra:1983

KOMANDURI, R.; LUCCA D.A.; TANI Y. Technological advances in fine abrasive processes. *Annals of CIRP*. v. 46/2/1997; p. 545-591.

KUME, H. *Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade*. 2. ed., Rio de Janeiro: AOTS & Editora Gente, 1985.

LASUS (LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SUPERFÍCIES USINADAS) *Roteiro para medição com rugosímetro Perthen S8P*. Florianópolis: UFSC, 1998. (Procedimento interno).

LEME, R. A. S. *Controle na produção*. São Paulo: Empresa gráfica da Revista dos tribunais, 1967. cap.10.

MESQUITA, N.G. de M. *Avaliação e escolha de uma superfície segundo sua função e fabricação*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1992.

MDC (MACHINING DATA CENTER). *Machining Data Handbook – volume 2*, 3. ed., 1980, seção 18.

MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M. *Qualitative data analysis: a sourcebook of new methods / Matthew B. Miles, A. Michael Huberman*. Beverly Hills: Sage, 1987.

MINAYO, M. C. S. *O desafio do conhecimento – Pesquisa qualitativa em saúde*. 2.ed., São Paulo: Hucitec-Abrasco, 1993, p. 20-36.

MOSTIACK, G. R. *Estudo do efeito do contato da ponta de um apalpador tipo estilete na medição da textura de superfícies técnicas*. Florianópolis: UFSC,1999. (Relatório CNPq – processo n° 52.3854/96 – 0 [NV]).

NIEMANN, G. *Machine Elements - Design and calculation in mechanical engineering*. Volume I. Nova York: Berlin Heidelberg, 1978.

ORLOV, P. *Ingenieria de diseno*. Moscou: Mir, 1985.

PREDEV (PRECISION DEVICES), Inc. *Surface Metrology Guide*. Disponível em: <<http://www.predev.com/smg/>>. Acesso em: maio 2000.

ROSA, E.; NICOLAZZI, L. C. *Análise de resistência mecânica de peças e componentes estruturais*. Apostila do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1988.

ROSS, P. J. *Aplicações das técnicas de Taguchi na engenharia de qualidade*. São Paulo: Makron Books, 1991.

SCHROETER, R. B. *Análise estatística na usinagem de ultraprecisão de cristais infravermelhos*. Trabalho para a conclusão da disciplina “Estatística” do curso de Pós-Graduação em Eng. Mecânica – UFSC, 1996. cap. 2. (xerox)

TABENKIN, A. *Surface measurements technology and standard*. Annals of understanding the bases of Honning and Superfinishing. Nashville: SME (Society of Manufacturing Engineers), maio, 1997.

WEINGRABER, H.; ABOU-ALY, M. *Handbuch Technische Oberflächen*. Braunschweig / Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1989.

WHITEHOUSE, D. J. *Surfaces – a link between manufacture and function*. Proc Instn Mech Engrs. v. 192, mar, 1978.

_____. *Handbook of Surface Metrology*. Londres: IOP Publishing, 1994.

YIN, R. K. *Case study research: design and methods*. 2. ed. Londres: SAGE, 1994.

APÊNDICE I

LISTA DE TÓPICOS ABORDADOS NAS ENTREVISTAS

- 1 Decisão de quais superfícies devem ser especificadas.**
 - 1.1 Quais os MOTIVOS que levaram à especificação da superfície?**
 - 1.2 Em que se FUNDAMENTAM as decisões de qual superfície deve ser especificada?**
 - Projetos anteriores;
 - Normas técnicas (ABNT, ISO, DIN);
 - Normas técnicas internas;
 - Bibliografia;
 - Experiência do projetista;
 - Outros (especificar).
- 2 Uma vez definido que uma superfície deve ser especificada, procura-se definir como esta superfície deve ser, antes de especificá-la?**

Caso seja feita a DEFINIÇÃO da superfície antes de especificá-la – ir para PERGUNTA 3 – SENÃO ir para PERGUNTA 4.
- 3 Definição da superfície desejada**
 - 3.1 Quem define a superfície desejada?**
 - 3.2 Qual o PROCEDIMENTO para a definição da superfície desejada? Existe alguma sistemática para defini-la? É determinada pela experiência do responsável pela definição?**
 - 3.3 Quanto aos INDICADORES DE CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA para a definição da superfície, utiliza-se algum? Isto é, como se caracteriza a superfície desejada em termos de definição?**

- Ex. Mesquita

Desvio geométrico – pequeno (polido)...

Tipo de perfil – Platafórmico, com grande área de contato...

Dependência da direção – Raias transversais, paralelas, cruzadas...

Ângulo - Pequeno ângulo de declive...

Reentrância – Fendas profundas (reservatórios de lubrificante)

Elevação – Pequena região de elevações com picos arredondados.

- Outra forma de caracterização (especificar).

4 Usa-se algum INDICADOR DE CARACTERIZAÇÃO DA INTEGRIDADE para a definição da superfície?

- Zona termicamente afetada;
- Tensões residuais;
- Presença de defeitos – trincas, salpicos refundidos....
- Microdureza;
- Outros fatores (especificar).

5 Especificação da superfície desejada.

5.1 Quem especifica a superfície?

5.2 Qual o PROCEDIMENTO para a especificação da superfície desejada? Existe alguma sistemática?

- Segue-se norma interna ou externa;
- De acordo com a experiência do responsável;
- Outros (especificar)

5.3 Especifica-se o processo de fabricação para obter a superfície?

5.4 Quais PARÂMETROS DE TEXTURA são usados? Em que se baseia a escolha de cada um deles?

5.5 Especifica-se OUTRO INDICADOR DE TEXTURA que não parâmetros?

Ex.: Raias cruzadas

5.6 Quanto aos INDICADORES DE DESEMPENHO?

Ex.: Resistência ao desgaste

5.7 Integridade da superfície:

- Especifica-se algum INDICADOR DE INTEGRIDADE? Ex.: ausência de trincas até um aumento de 10 X; microdureza; tensão residual; etc.
- Utiliza-se algum INDICADOR DE DESEMPENHO? Ex.: vida infinita submetido a certo nível de sollicitação dinâmica (apesar que neste caso a textura também influencia); etc.

6 Fabricação da superfície especificada.

6.1 Qual o PROCEDIMENTO para a decisão de como fabricar o componente para que a superfície resultante seja coerente com a especificada? Existe uma sistemática?

- Segue-se padrões anteriores (herdados ou comprados de outra empresa, por exemplo);
- Experiência do processista;
- Através de experimentação;
- Recomendação do cliente;
- Outros (especificar).

6.2 A superfície resultante é uma preocupação apenas nos processos de ACABAMENTO ou também de DESBASTE? Isto é, controla-se o estado da superfície, tanto textura e integridade, em operações intermediárias ou apenas quando o produto está acabado?

6.3 Caso DESBASTE: por que o desbaste também é controlado e como se chegou a RECOMENDAÇÃO da superfície PARA CADA OPERAÇÃO? (textura e integridade)

6.4 Para o ACABAMENTO – existe controle da superfície antes de entrar no processo de acabamento ou se espera que com ele (o processo de acabamento) se alcance a superfície desejada independente do estado de entrada? (textura e integridade)

7 Avaliação da superfície fabricada?

7.1 Qual o procedimento para a avaliação da TEXTURA da superfície fabricada?

- Qual o instrumento de avaliação (Rugosímetro de bancada, portátil, inspeção visual.)?
- Como se seleciona o apalpador mais recomendado (sonda óptica, apalpador mecânico - qual raio de ponta, ângulo...)?
- E os parâmetros de entrada (*cutoff*, VB, tipo de filtro)?
- Como é decidida a direção da medição?
- Como é decidido o número de medições por superfície?

7.2 Qual o procedimento para a avaliação da INTEGRIDADE da superfície fabricada?

- Quais os métodos e os instrumentos utilizados para avaliar a integridade da superfície (Líquido penetrante, partículas magnéticas, MEV, raio X...)?
- Como se selecionam os parâmetros de entrada e o procedimentos (tamanho de partícula magnética, intensidade do ultra-som...)? Esta decisão é baseada em que? Ex.: projetos anteriores; normas técnicas (ABNT, ISO, DIN); normas técnicas internas; bibliografia; experiência do projetista; outros (especificar).
- Como é decidido o número de medições por superfície?

8 Controle da superfície fabricada?

- 8.1 O controle de TEXTURA é por PADRÕES DE COMPARAÇÃO VISUAL ou pela comparação da superfície AVALIADA com a especificada?**
- 8.2 O controle (textura e integridade) é por INSPEÇÃO ou por CONTROLE DE PROCESSO?**
- 8.3 Como se determinou o NÚMERO DE PEÇAS para garantir a qualidade do lote, ou para garantir a estabilidade do processo?**
- 8.4 Caso a superfície NÃO ATINJA O ESPECIFICADO quais medidas são tomadas? São retrabalhadas, descartadas ou liberadas? (textura e integridade)**

9 METODOLOGIA PROPOSTA POR MESQUITA (1992)

Neste item, será brevemente apresentada a metodologia para a avaliação e escolha da textura de superfície proposta por Mesquita (1992), como segue abaixo, para posteriormente questionar a validade e possibilidade de uso desta.

9.1 Breve resumo da metodologia para a avaliação e escolha da textura de superfície proposta por Mesquita (1992)

Delinear a solicitação (função) e as exigências que a superfície deve apresentar.

- Resistência ao desgaste
- Amortecimento ao desgaste inicial
- Capacidade de deslizar
- Capacidade de reter lubrificante

a) Definir a como deve ser a textura (quadro 21):

QUADRO 21 – Descrição da superfície desejada para uma SLD (MESQUITA, 1992)

Exigências a uma SLD	Descrição da microgeometria de uma SLD através de:					
	Desvio geométrico	Tipo de perfil	Dependência da direção	Ângulo	Reentrância	Elevação
Resistência ao desgaste	$0,1 < R_a < 1,0$					
Amortecimento ao desgaste inicial		Perfil platafórmico				Pequena região de picos
Capacidade de deslizar				Pequeno ângulo de declive		
Capacidade de reter lubrificante			Superfície dependente (textura transversal à direção de deslizamento)		Fendas profundas, depressões (reservatórios de lubrificante)	
Capacidade de suportar carga		Perfil platafórmico				Picos arredondados
Dissipação de calor		Grande área de contato				Picos arredondados
Superfície desejada¹⁷	$0,1 < R_a < 1,0$	Superfície platafórmica com grande área de contato	Superfície dependente da direção	Pequeno ângulo de declive	Grande região de reentrâncias	Pequena região de elevações com picos arredondados

b) Especificar a textura definida (quadro 22):

QUADRO 22 – Especificação da superfície desejada para SLD (MESQUITA, 1992)

PROPRIEDADES EXIGIDAS	ESPECIFICAÇÃO
Capacidade de suportar carga	$25^\circ < \alpha_k < 33^\circ$
Amortecimento do desgaste inicial	$R = 1/CM$ $AP / AT < 1\%$
Cap. de deslizar	$3^\circ < \alpha_{nm} < 8^\circ$
Cap. de reter lubrificante	$3\% < Av / At < 10\%$
Cap. de dissipar calor	$25^\circ < \alpha_k < 33^\circ$

¹⁷ No referido trabalho designa-se a *superfície desejada* por *superfície ideal*, nomenclatura que não foi adotada por motivos já citados.

c) Decisão de qual processo de fabricação é o mais adequado.

A recomendação é que sejam feitos corpos de prova, e após avaliar as superfícies resultantes, contrastar com o especificado.

9.2 Questão

Qual a sua opinião sobre esta metodologia, os pontos fortes e fracos, e a sua opinião sobre a possibilidade de se implantar este modelo nas indústrias?

10 Ao final de cada entrevista, CARACTERIZAR O(s) ENTREVISTADO(S).

- Qual a formação técnica - A origem do conhecimento em tecnologia de superfície?
- Quantos anos tem de empresa?
- Quantos anos trabalha na área (em qualquer empresa)?

APÊNDICE II

ALGUNS MÉTODOS DE COLETA DE DADOS

1 ENTREVISTA DESESTRUTURADA (estilo conversa)

- Características: As perguntas surgem de acordo com o contexto imediato e são feitas segundo o rumo natural dos acontecimentos; não há predeterminação de tópicos, perguntas ou palavreado a serem usados.
- Vantagens: Há um aumento relevante de perguntas que podem ser combinadas conforme os indivíduos e as circunstâncias. O método é bom para exploração de novos assuntos.
- Desvantagens: Diferentes informações são coletadas de diferentes pessoas com diferentes perguntas. Pouco sistemático e abrangente. Dados podem ser difíceis de serem organizados e analisados.

2 ENTREVISTA SEMI – ESTRUTURADA (abordagem por guia de entrevista)

- Características: Os assuntos a serem abordados são escolhidos e especificados com antecedência, mas o entrevistador resolve a seqüência e o palavreado durante sua entrevista.
- Vantagens: Mais sistemático e abrangente, e ainda mantendo o rumo natural da conversa e da situação.
- Desvantagens: Importantes tópicos podem ser omitidos sem querer. A flexibilidade e o palavreado das perguntas pode resultar em diferentes respostas de diferentes perspectivas, reduzindo assim a comparabilidade.

3 ENTREVISTA ESTRUTURADA, COM CRITÉRIOS DE INÍCIO – FIM

- Características: A seqüência e o palavreado são determinados com exatidão antecipadamente, delimitando, assim, as respostas do começo ao fim.
- Vantagens: Aumento da comparabilidade das respostas. O banco de dados é totalmente preenchido para cada entrevistado. Facilita a organização e a análise dos dados. É melhor, desde que já se tenha um conhecimento do assunto.
- Desvantagens: Pequena flexibilização em relação a cada entrevista individual e às diferentes circunstâncias. Palavreados de perguntas padronizadas podem restringir e limitar a naturalidade e a relevância das perguntas e respostas.

4 LISTANDO LIVRE

- Características: Pedir informações a fim de listar todos os itens de um domínio informativo definido.
- Vantagens: Primeiro passo útil em toda pesquisa envolvendo definições de novos domínios. Ajuda a assegurar que os conceitos são culturalmente relevantes.
- Desvantagens: Possíveis dificuldades envolvidas em achar termos genéricos apropriados para começar o processo de listagem podem surgir. As vezes, as listas produzidas são muito escassas.

5 ENFOQUE DE GRUPOS

- Características: Técnica de entrevista de grupo que se baseia na discussão entre os participantes.
- Vantagens: Pode produzir bastante informação rapidamente. Bom para identificar e explorar opiniões, atitudes e comportamentos. Identifica questões relevantes para as entrevistas individuais. É a forma de comunicação com a qual a maior parte das pessoas se sentem mais confortáveis.

- Desvantagens: Não fornece informações sobre a frequência ou a distribuição de opiniões e comportamentos. São difíceis de conduzir; exige habilidade de mediação. Participantes podem influenciar uns aos outros nas respostas, o que deve ser levado em consideração para uma análise cuidadosa dos resultados.

6 TÉCNICAS PARA ENTREVISTAR OUTROS GRUPOS (grupo não focado)

- Características: Uma técnica de entrevista de grupos mais informal, a qual procura utilizar grupos naturalmente preexistentes. Às vezes, membros do grupo são convidados para trabalhar juntos a fim de completar uma tarefa, tal como construir um mapa da comunidade. O propósito é fazer uma comunidade ativamente envolvida em identificar e explorar os tópicos de seu interesse.
- Vantagens: Bom para construir coesão no grupo, identificando e explorando problemas e prioridades, aumentando a consciência sobre os problemas locais, envolvendo as pessoas do local na identificação de soluções potenciais. É divertido e interessante para os participantes.
- Desvantagens: Menos sistemático que o enfoque de grupos, então as comparações entre grupos são mais difíceis. Requerem preparação, mas talvez menos habilidade de mediador que o método de enfoque de grupos. Aumentando a consciência das pessoas, pode aumentar suas expectativas (pesquisas devem ser cuidadosas para não criarem expectativas não realizáveis).

7 ANÁLISE DA ESTRUTURA SOCIAL

- Características: Conjunto de métodos para descobrir e descrever estruturas sociais e moldes de interação social, baseando-se em entrevistas individuais e em observações dos participantes.

- **Vantagens:** Pode identificar importantes grupos sociais. Fornece informações sobre o valor, o significado e os limites de relacionamento num sistema de trabalho. Descreve atributos relacionados com a estrutura social de um indivíduo em uma população. Descreve os contatos e os vínculos que relacionam indivíduos ou grupos um com os outros.
- **Desvantagens:** Alguns métodos podem exigir muita dedicação e longo tempo para construir relações com os entrevistados, outros são longos e chatos de aplicar. A análise de dados é consideravelmente sofisticada.

8 OBSERVAÇÃO PARTICIPANTE

- **Características:** Na realidade não é uma técnica de coleta de dados, mas até certo ponto uma aproximação pela qual o pesquisador torna-se um membro ativo da cultura por ele estudada, baseando-se principalmente em observação desestruturada e entrevista desestruturada.
- **Vantagens:** Facilita todas as outras atividades de coleta de dados por ou contribuir para o entrosamento e reduzir a repulsividade das pessoas. Ajuda a formular questões relevantes. Adequada para entender processos, acontecimentos e relacionamentos em seu contexto social.
- **Desvantagens:** Pode consumir muito tempo. Requer que o recenseador fale a língua local muito bem, e que ele seja um hábil observador e analisador.

9 OBSERVAÇÃO DESESTRUTURADA

- **Características:** O observador é externo; não participante. Os pontos a serem observados são genericamente predefinidos. Focado no geral, dirige-se para observar o comportamento no contexto holístico.

- Vantagens: Adequada para descobrir aspectos desconhecidos de um problema, o que permite descobertas de "surpresa". Bom para entender comportamentos em seus aspectos físicos e sociais.
- Desvantagens: Não fornece precisão nem a possibilidade de repetir as medidas de comportamento, e, desta maneira, não pode ser usado para monitorar mudanças de comportamento.

10 OBSERVAÇÃO ESTRUTURADA

- Características: O recenseador é externo, não participante. Observa e registra as observações de uma maneira predeterminada.
- Vantagens: Provêm dados numéricos precisos, que permitem análise estatística e que podem ser repetidos para monitorar mudanças de comportamento com o passar do tempo.
- Desvantagens: O problema a ser estudado precisa estar bem definido. O treinamento dos observadores é intensivo e consome muito tempo. A estrutura predeterminada das observações limita a descoberta de comportamentos potencialmente pertinentes.

11 MODELAGEM DE ÁRVORE – DECISÕES ETNOGRÁFICAS

- Características: Utiliza entrevista e observação participantes para extrair o próprio critério de decisão da pessoa. Estes critérios de decisão então são combinados na forma de uma árvore de decisões ou fluxograma. O 'modelo' é então testado com uma amostra de indivíduos responsáveis pela(s) tomada de decisões relacionadas ao assunto em estudo.
- Vantagens: Compartilha os pontos fortes e fracos dos métodos qualitativos de coleta de dados que ela utiliza. É um meio sistemático para descobrir (entender) como as pessoas tomam suas decisões. Bom para ganhar um entendimento do comportamento observado e para prever comportamentos.

- Desvantagens: Processos de modelagem podem ser difíceis se o pesquisador não tiver nenhuma experiência anterior. Requer conhecimento de computação para testar os modelos.

APÊNDICE III

EXEMPLO DE PROCEDIMENTOS

1 Avaliação de textura superficial - Procedimento

O procedimento de avaliação das superfícies deve obedecer ao seguinte critério:

- f) Superfícies com especificação em R_a igual ou superior a 6,4 serão avaliadas por método visual e comparadas com padrões de rugosidade coerente com o processo de fabricação em questão.
- g) Superfícies cujos indicadores forem os parâmetros R_a , R_t ou R_q , que não se enquadram no item anterior - será utilizado rugosímetro portátil, tanto nas células de medições quanto na linha - conforme será descrito no item 1.1. Salvo exceções, em que as condições geométricas da região a ser medida não permita o uso do rugosímetro portátil.
- h) Superfícies em que se deseje avaliar qualquer outro parâmetro - será feito nas células de medições através de rugosímetro de bancada – conforme será descrito no item 1.2

1.1 Procedimento para avaliação da textura da superfície por rugosímetro portátil

1.1.1 Especificação do instrumento de medição

Todos os rugosímetros portáteis devem estar equipados com *Pick-up* com raio de ponta de 5 μm .

1.1.2 Procedimento de medição

Primeiramente, deve-se acertar os parâmetros de entrada do rugosímetro:

- i) Ajustar o filtro para tipo Galciano;
- j) Entrar com o valor do *cutoff* – deve-se ajustar para o valor determinado na especificação. Caso não haja, seguir o quadro 23.

QUADRO 23 – Determinação do *cutoff* (DIN 4768)

Perfis periódicos	Perfis não periódicos		<i>cutoff</i>	Comprimento de medição
Sm [mm]	R _z [μm]	R _a [μm]	λ _c [mm]	Lm [mm]
>0,01 até 0,04	Até 0,1	Até 0,02	0,08	0,4
>0,04 até 0,13	> 0,1 até 0,5	> 0,02 até 0,1	0,25	1,25
>0,13 até 0,4	> 0,5 até 10	> 0,1 até 2	0,8	4
>0,4 até 1,3	> 10 até 50	> 2 até 10	2,5	12,5
>1,3 até 4	> 50	> 10	8	40

Uma vez ajustado o rugosímetro, este deve ser posicionado de tal forma que a direção de medição seja perpendicular à das raiais. Caso a textura não apresente sentido preferencial, a direção de medição deve constar no plano de medição deste componente.

1.2 Procedimento para avaliação da textura da superfície por rugosímetro de bancada

1.2.1 Especificação do instrumento de medição

Todos os rugosímetros de bancada devem estar equipados com *Pick-up* sem patins e com raio de ponta de 5 μm. Abaixo, segue um exemplo.

1.2.2 Roteiro para medição com rugosímetro Perthen S8P (LASUS, 1998)

Simbologia:

[xxxx] = Teclas pretas no teclado do rugosímetro

{xxxx} = Teclas verdes no teclado do rugosímetro

[n°] = Algarismo numérico

[Fn] = Teclas de funções, onde n=1...7

(xxxx) = significado da tecla Fn

1.2.2.1 Instalação do apalpador

- Escolher o apalpador a ser utilizado;
- Feita a escolha, o mesmo deve ser fixado na unidade de avanço, tomando-se o cuidado de não apertar demais os parafusos;
- O fio do apalpador deve ser ligado na unidade avanço, encaixando-se os dois terminais.
Em geral, a meia-lua do terminal macho deve ficar para cima;

1.2.3 Escolha do programa de medição

- Ao ligar o rugosímetro sempre é chamado o programa 1 e para utilizar outro programa é necessário buscá-lo na memória;
- Para buscar um programa, apertar [RCLPROG]. Uma lista com todos os programas existentes aparecerá;
- Apertar [n°] onde n° é o número do programa que deseja chamar. Apertar [ENTER];
- Para visualizar o conteúdo do programa, apertar [PROG] e o programa de medição será mostrado;
- Se desejar fazer alguma alteração no programa, utilizar as teclas [Fn], cujas funções são indicadas na tela;
- A função mais usada é a que altera o texto do programa, para isto, apertar [F3](text) inserir o texto desejado e apertar [ENTER] até que o cursor se apague. Caso a função TEXT não esteja indicada na tela, deve-se apertar [F6](ROLL F1-F4) e então as funções das teclas F1 até F4 são alteradas.
- Para salvar o programa, apertar [STOPROG] e aparecerá então a listagem com todos os programas existentes. Apertar [n°] que corresponde ao n° do programa que deseja salvar e então apertar [ENTER];

- Aparecerá na tela a mensagem SAVE ?. Para efetivar o salvamento, colocar a chave do rugosímetro e girá-la no sentido horário, então aparecerá a mensagem SAVE OK;

1.2.4 Medição de rugosidade

- Escolhido o programa e o apalpador a ser usado, apertar [MESSEN] e a tela de medição se abre;
- Nesta hora, o tipo de apalpador fica piscando na tela e é preciso então selecionar o apalpador que está se usando. Para isto apertar [F4](Pick-up), digitar o número do apalpador desejado que aparece na lista e apertar [ENTER]
- Selecionar o campo vertical VB que será usado. Para isto apertar [F2](VB) quantas vezes for necessário até que o VB desejado apareça na tela.
- Selecionar *cutoff* que será usado. Parta isto fazer uma medição inicial com qualquer *cutoff* e ler o valor de R_a . Com este valor, olhar a tabela da parede e ver qual é o *cutoff* indicado para o R_a medido. Feito isto, apertar [F1](LT), até que o *cutoff* desejado apareça na tela.
- Caso o comprimento de medição correspondente ao *cutoff* a ser utilizado seja maior que o espaço a ser avaliado no componente, deve-se reduzir o número de trechos de medição - **Z**. O padrão do equipamento é $Z = 5$, sendo que é desprezado o primeiro e o último trecho de medição, o que corresponde a um comprimento de medição igual a 7 (sete) vezes o valor do *cutoff*. Para alterar o valor de Z segue-se os seguintes passos:

[ALPHA] [Z] [SPACE] [n°] [ENTER], onde $n^\circ = 1$ até 4

Se mesmo esta redução não for suficiente, deve-se abrir um processo de anomalia para ser avaliado a fim de identificar uma maneira que as distorções causadas pelo filtro sejam minimizadas.

- Agora, está pronto para medir. Para isto, apertar a tecla [MESSEN], que abre a tela de medição, posicionar o apalpador em zero, observando na tela e então apertar [START], que a medição se inicia.

1.2.5 Medição Paralela Tridimensional

⇒ Primeira medição tridimensional

1. Primeiro, deve-se entrar na tela de medição paralela. Para isso, apertar [OPTION], que altera as funções [Fn], apertar [F6](soft-opt), que altera novamente as funções [Fn], apertar [F1](PAZ) que a tela de medição paralela se abre. O valor YPOS aparece como *****. Aguardar até que os dígitos fiquem todos 0,0000 para então fazer alterações dos parâmetros de medição.
2. Nesse momento, pode-se fazer a escolha do número de medições que serão feitas, variando de 4 a 128 com a tecla [F6](NY).
3. O outro valor que deve-se selecionar é o deslocamento em Y, para isso, deve-se usar um comando Alfanumérico, apertando [ALPHA] e escrevendo LY=**, ** MM, onde **, ** é o valor em milímetros que se deseja deslocar em Y.
4. Depois disso, está pronto para iniciar a medição paralela. Deve-se posicionar o apalpador próximo a zero como se faz numa medição simples e é importante lembrar que o [START] deve ser dado dentro da tela de medição paralela, pois, caso contrário, o equipamento fará somente uma medição. É aconselhável, ainda, fazer uma medição preliminar com NY=4 ou NY=8, para se certificar que o campo vertical não seja excedido e que o LY seja inadequado. Feita a primeira medição com NY=4 ou 8, aparece na tela o perfil tridimensional. Neste momento, apertar então [F7] (PAZ TAST), que retorna à tela de medição paralela e [F1] (YPOS ←) que retorna a mesa na posição zero. Seleciona-se o NY desejado e aperta-se [START], iniciando então a medição paralela.

Vale como dica, nos casos em que você se perde na configuração da medição 3D, sempre retornar na tela inicial de medição, apertando [MESSEN]. Estando nesta tela, você inicia as etapas descritas no item 1 e entra novamente na tela de medição paralela.

5. Quando a medição paralela termina, o perfil 3D é mostrado na tela. Se você deseja obter a estatística das últimas medições feitas, deve-se copiá-las primeiro. Para isso, apertar [STAT] e depois [COPY]. Se quiser a listagem de algum dos parâmetros medidos, apertar [SL] e o número do parâmetro que você quer tirar a listagem de acordo com a lista de parâmetros indicados na tela. Fornecido o número do parâmetro, apertar [ENTER] e, em seguida, entrar com o número da primeira medição que você quer que apareça na listagem, apertar [ENTER], e entrar com o valor da última medição que você quer na listagem, teclando [ENTER] e depois [COPY]. O intervalo máximo que se pode pedir a listagem é de 40 medições e somente as 80 últimas são guardadas na memória. Se desejar uma listagem com mais de 40 medições, dividi-la em duas partes e se desejar a listagem de mais algum parâmetro, repetir estes passos.
6. Depois de copiada a estatística, deve-se copiar o perfil 3D, apertando as seguintes teclas: [OPTION], [F6](soft.opt), [F1](PAZ) e o perfil aparece. Para imprimi-lo, usar o comando [F6](PAZCOPY), pois para perfil 3D esta impressão é mais nítida do que [COPY].
7. Depois de impressos os perfis, deve-se retornar a mesa na posição inicial de Y. Para isso, estando com o perfil 3D visível na tela, apertar [F7](PAZ TAST) e a tela, com as configurações da medição 3D, se abre. Nessa tela, apertar [F1](YPOS<--), e então será feita a pergunta se você quer apagar a medição existente, apertar então Y e a mesa retorna. Se o perfil 3D não estiver na tela apertar então a sequência [OPTION], [F6], [F1], [F7] e [F1].

8. Para fazer uma nova medição, seguir os passos de 1 a 7 novamente.