

1. OBJETIVO

Este documento tem por objetivo descrever um roteiro e os métodos para identificar e realizar a medição simplificada de engrenagens cilíndricas de dentes retos sem correção, tanto construídos no sistema métrico (Módulo) quanto no sistema inglês (Diametral Pitch). Engrenagens com correção serão avaliadas pelo procedimento de medição avançado.

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

ABNT NBR 6174 – Definições Gerais de Engrenagens

ABNT NBR 8088 – Módulo de Engrenagens Cilíndricas

ABNT NBR 6684 – Engrenagens Cilíndricas - Terminologia

ABNT NBR 10095 – Engrenagens Cilíndricas de Evolvente – Precisão Dimensional

ABNT NBR 10099 – Símbolos de Engrenagens Cilíndricas

MAAG GEAR BOOK – Calculation and Manufacture of Gears and Gear Drives for Designers and Works Engineers

FRM; FIESP. Telecurso 2000 – Elementos de Máquina

3. TERMINOLOGIA

- Engrenagem Cilíndrica – engrenagem cuja superfície primitiva é cilíndrica.
- Altura do Dente – distância radial entre a circunferência de cabeça e a circunferência do pé.
- Altura da Cabeça – distância radial entre a circunferência da cabeça e a circunferência primitiva.
- Diâmetro da cabeça (diâmetro externo) – diâmetro da circunferência da cabeça.
- Diâmetro de referência (diâmetro primitivo) - diâmetro da circunferência primitiva (ou de funcionamento).
- Lupa

4. INSTRUMENTOS

- Micrômetro externo;
- Paquímetro universal;
- Paquímetro de duplo nônio;
- Cilindros calibrados (roletes);
- Micrômetro para medição de engrenagens.

5. RESULTADOS OBTIDOS

- Medição da espessura do dente através da medição do W_k ;
- Medição do valor medido sobre dois roletes (M_{dr}).
- Medição da Espessura do Dente (S)

6. ROTEIRO DE AVALIAÇÃO

6.1 Preparação

Limpeza: Utilizar benzina, éter ou álcool isopropílico, tecido de popeline branco, guardanapo de papel ou papel toalha, escova e luvas de látex. Devem ser limpos tanto a engrenagem quanto os instrumentos a serem empregados nessa verificação.

Exame visual: Utilizar luvas de látex para manusear as peças. O exame da engrenagem consiste em fazer um controle visual, verificando oxidações ou danos/amassamentos/batidas que comprometam a verificação. Verificar se a engrenagem possui rebarbas, oxidações, se os dentes não se encontram amassados ou quebrados. Anotar no registro de medição as condições da peça medida. Utilizar a lupa fornecida se necessário.

Estabilização da temperatura: Colocar as peças a serem medidas juntamente com os padrões sobre a mesa de medição para estabilização da temperatura. A temperatura do ambiente, das peças e dos instrumentos empregados, deve ser de $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e verificada com um termômetro de resolução máxima $1,0^\circ\text{C}$.

Verificação da calibração dos padrões: os instrumentos devem estar calibrados por laboratórios credenciados pela RBC ou credenciados pelo CEQ, e dentro do prazo de validade. Anotar os dados dos padrões e instrumentos e dos seus certificados de calibração no relatório de medição.

6.2 Caracterização da engrenagem

O **ângulo de pressão (α)** da engrenagem deve ser conhecido, podendo este ser de $14^\circ 30'$, 15° ou 20° . Anotar o valor no registro dos resultados.

A caracterização de uma engrenagem cilíndrica de dentes retos possui vários caminhos a serem seguidos. Salienta-se que o caminho escolhido é uma sugestão a fim de se padronizar o método para a qualificação, não sendo este, necessariamente, melhor ou mais rápido do que os outros.

Inicialmente deve-se conhecer o **número de dentes (z)** da engrenagem, obtido a partir da contagem simples dos mesmos. Anotar o valor no registro dos resultados.

O **diâmetro da cabeça (d_a)** da engrenagem deve ser medido com um paquímetro universal. Atentar, nesta medição, para que a medida seja realizada no maior diâmetro da mesma. Anotar o valor no registro dos resultados.

Inicialmente, precisamos identificar se a engrenagem está construída no sistema métrico (módulo), unidade das medidas em milímetros, ou sistema inglês (diametral pitch), unidade das medidas em polegadas.

SISTEMA MÓDULO: $m = \frac{d_a}{z + 2}$

Fonte: FRM; FIESP (2000)

SISTEMA DIAMETRAL PITCH: $dp = \frac{z + 2}{d_a}$

Fonte: FRM; FIESP (2000)

RELAÇÃO ENTRE MÓDULO E DIAMETRAL PITCH ; $m \cdot dp = 25,4$ Fonte: MAAG GEAR BOOK (1962)

Para que se defina se a engrenagem está construída no sistema métrico (módulo) ou sistema inglês (diametral pitch), basta que se verifique em qual dos dois cálculos o valor encontrado é o normalizado (tabela 1).

Tabela 1
Valores normalizados de “M” e “DP”

Valores Normalizados	
Módulo (m)	Diametral Pitch (dp)
1 – 1,25 – 1,5 – 2 – 2,5 – 3 – 4 – 5 – 6 – 8 – 10 – 12 – 16 – 20	20 – 16 – 12 – 10 – 8 – 7 – 6 – 5 – 4 – 3 – 2½ – 2 – 1½ – 1¼ – 1

Fonte: MAAG GEAR BOOK (1962)

6.3 Medição da espessura do dente através da medição do Wk

Com a engrenagem já caracterizada deve-se preparar a medição do Wk. Chama-se de medida sobre k número de dentes a distância (Wk) entre dois planos paralelos a dois flancos externos de um determinado número de dentes. A distância Wk na engrenagem é função da espessura do dente e de outras características da mesma. Desta maneira, esta medida se presta para verificar a espessura do dente. Além de ser um método fácil de ser aplicado é, ainda, de grande precisão.

Para medir o Wk precisa-se descobrir o número mínimo de intervalos de dentes que é usado no cálculo e na medição, em função do ângulo de pressão e do número de dentes da engrenagem, conforme a Tabela 2.

Tabela 2
Valores tabelados DE k segundo a fórmula

$$k = z \frac{\alpha}{180^\circ} + 0,5 \quad [\text{Fonte: MAAG GEAR BOOK (1962)}]$$

Número mínimo de intervalo de dentes (k)	Ângulo de pressão (α)		
	14° 30'	15°	20°
	Número de dentes (z)		
2	5 até 24	5 até 23	4 até 17
3	25 até 37	24 até 35	18 até 26
4	38 até 49	36 até 47	27 até 35
5	50 até 62	48 até 59	36 até 44
6	63 até 74	60 até 71	45 até 53
7	75 até 86	72 até 83	54 até 62
8	87 até 99	84 até 95	63 até 71
9	100 até 111	96 até 107	72 até 80
10	112 até 124	108 até 119	81 até 89
11	125 até 136	120 até 131	90 até 98
12	137 até 148	132 até 143	99 até 107
13	149 até 161	144 até 155	108 até 116
14	162 até 173	156 até 167	117 até 125
15	174 até 186	168 até 179	126 até 134
16	187 até 198	180 até 191	135 até 143
17	199 até 211	192 até 203	144 até 151
18	212 até 223	204 até 215	152 até 161

Anotar o valor selecionado na Tabela 2 no registro dos resultados.

Calcular, então, em função do ângulo de pressão da engrenagem, o valor teórico da medida sobre k número de dentes (Wk), conforme Tabela 3. Anotar o valor calculado no registro dos resultados.

Tabela 3

Cálculo do Wk em função do ângulo de pressão

$$Wk = m \cdot \cos \alpha [(k - 0,5)\pi + z \cdot \operatorname{inv} \alpha] \quad [\text{Fonte: MAAG GEAR BOOK (1962)}]$$

Ângulo de pressão	Cálculo do Wk
14° 30'	$Wk = m[(3,041526 \cdot k) - 1,520763 + (0,005545 \cdot z)]$
15°	$Wk = m[(3,034545 \cdot k) - 1,517273 + (0,006150 \cdot z)]$
20°	$Wk = m[(2,952131 \cdot k) - 1,476066 + (0,014904 \cdot z)]$

6.3.1 Para realizar a medição do Wk utiliza-se o micrômetro para medição de engrenagens conforme a figura 1. Anotar o valor medido no registro dos resultados.



Figura 1 – Medição da espessura do dente através da medição do Wk

6.3.2 Medição da espessura do dente através do uso do paquímetro para medição de engrenagens

A dimensão da espessura do dente de uma engrenagem também pode ser realizada através da utilização do paquímetro para medição de engrenagens, também conhecido como paquímetro de duplo nônio (figura 2).

A utilização do paquímetro de duplo nônio, especialmente construído para este tipo de medição, consiste em posicionar a escala vertical com o valor da altura da cabeça do dente na corda ($\bar{h}_a$), calculado anteriormente, e travar a mesma. Posteriormente, apoia-se o paquímetro sobre o dente e realiza-se a medição da espessura de dente medido na corda ($\bar{s}$). Isto ocorre para que esta medição seja realizada sobre o diâmetro de referência (primitivo) da engrenagem.

Anotar o valor medido no formulário de registro dos resultados.

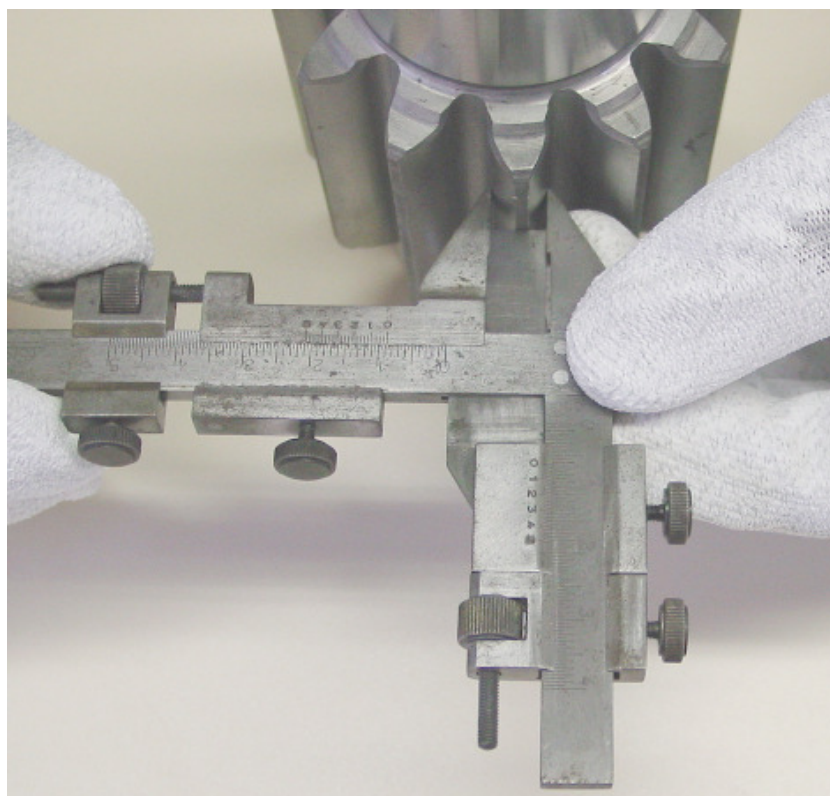


Figura 2 – Medição da espessura de dente medido na corda ($\bar{s}$)

6.4 Medição do valor medido sobre dois roletes (M_{dR})

6.4.1 Para a obtenção do valor teórico do M_{dR} de engrenagens “Diametral Pitch”, quando o “diametral pitch” for diferente de 1, dividir o valor encontrado na tabela 4 pelo valor do “diametral pitch” desejado. Se a engrenagem for métrica, ou seja, com módulo e o módulo for diferente de 25,4, multiplica-se o valor encontrado na tabela 4 pelo módulo desejado.

Determinar o diâmetro dos roletes que serão usados na medição de M_{dR} . A fórmula de cálculo do valor ideal do diâmetro do rolete para realizar a medição de M_{dR} é

- Diâmetro do rolete de medição (D_{mr})

$$D_{mr} \approx 1,728 \cdot m$$

ou

$$D_{mr} \approx \frac{1,728}{dp}$$

Fonte: MAAG GEAR BOOK (1962)

Anotar o valor calculado no registro de resultados.

Como na prática esse valor nem sempre está disponível devem-se procurar dois roletes de diâmetros iguais e com valor próximo ao calculado.

Deve-se medir o diâmetro de cada rolete com o uso de um micrômetro externo e anotar o valor médio medido dos dois roletes no registro de resultados.

Parte-se agora para a medição sobre dois roletes (M_{dR}) que deve ser feita observando-se a diferenciação entre engrenagens com número par e ímpar de dentes. Isto ocorre porque os vãos estão diametralmente

opostos nas engrenagens com número par de dentes. Já nas engrenagens com número ímpar de dentes isso não ocorre.

Utilizando-se de um micrômetro externo realiza-se a medição da dimensão sobre os roletes (figura 3).

Anotar o valor medido no registro dos resultados.

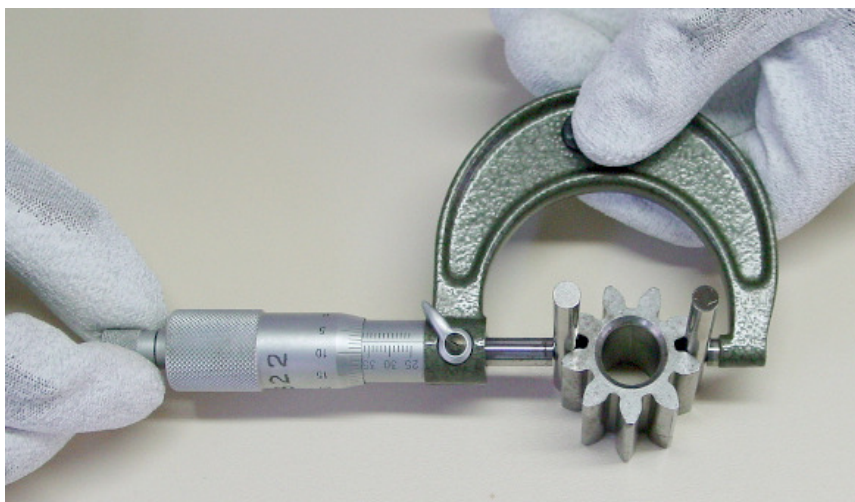


Figura 3 – Medição sobre dois roletes (M_{dR})

| 6.4.2 Este processo é aplicável quando o diâmetro dos roletes utilizados é próximo ao diâmetro calculado.

6.5 Avaliação das engrenagens

Os valores medidos devem ser comparados aos valores do critério de avaliação do cliente para que seja determinado pelo inspetor se a engrenagem está de acordo com os padrões estabelecidos.

7. REGISTRO DE RESULTADOS

Deve ser preparado um relatório de medição das engrenagens contendo:

- características dos padrões utilizados;
- condições ambientais (temperatura ambiente);
- dados da inspeção visual (riscos, mossas, oxidação, outros danos);
- valores medidos e calculados.

8. ANEXOS

Anexo 1 - Formulário para engrenagens cilíndricas de dentes retos

Anexo 2 - Relatório de medição de engrenagens cilíndricas de dentes retos

Anexo 3 – Tabela 4

ANEXO 1

FORMULÁRIO PARA ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES RETOS – Nível Básico

CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO	FÓRMULA
Passo	p	$p = m \cdot \pi = \frac{\pi}{dp}$
Diâmetro de referência (primitivo)	d	$d = z \cdot m = \frac{z}{dp}$
Espessura do dente normal	s	$s = \frac{m \cdot \pi}{2} = \frac{\pi}{2 \cdot dp}$
Função involuta	$inv\alpha$	$inv\alpha = tg\alpha - \frac{\alpha \cdot \pi}{180^\circ}$

Fonte: MAAG GEAR BOOK (1962)



ANEXO 2

RELATÓRIO DE MEDIÇÃO DE ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES

		RELATÓRIO DE MEDIÇÃO DE ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES RETOS		Procedimento REV. 0 Dez/2006	
1) Características do micrômetro externo					
Faixa de indicação: _____		Fabricante: _____			
Resolução: _____		Modelo: _____			
Nº identificação: _____		Nº de série: _____			
2) Características do micrômetro para medição de engrenagens					
Faixa de indicação: _____		Fabricante: _____			
Resolução: _____		Modelo: _____			
Nº identificação: _____		Nº de série: _____			
3) Condições ambientais Temperatura ambiente: _____					
4) Inspeção visual (Observações)					
Nº da PEÇA		ÂNGULO DE PRESSÃO (α)		Nº de dentes (z)	
DESCRIÇÃO DA ENGRENAGEM					
5) Medição					
CARACTERÍSTICA		VALOR CALCULADO		VALOR MEDIDO	
Diâmetro da cabeça (da)					
Módulo (m)					
Diametral pitch (dp)					
Quantidade de dentes (k)					
Medida sobre k número de dentes (Wk)					
Diâmetro do rolete de medição (D_{mr})					
Medição sobre dois roletes (M_{dR})					
6) Cálculos					
7) Observações					
Inspetor: _____ SNQC: _____ Data: ____/____/____					

ANEXO 3

TABELA 4

(Fonte: apostila Inspetor de Medição SENAI FIT-24)

Número de Dentes (Z)	Ângulo de Pressão				
	14°30'	17°30'	20°	25°	30°
6	8,2846	8,2927	8,3032	8,3340	8,3759
7	9,1116	9,1172	9,1260	9,1536	9,1928
8	10,3160	10,3196	10,3271	10,3533	10,3919
9	11,1829	11,1844	11,1905	11,2142	11,2509
10	12,3399	12,3396	12,3445	12,3667	12,4028
11	13,2317	13,2296	13,2332	13,2536	13,2882
12	14,3590	14,3552	14,3578	14,3768	14,4108
13	15,2677	15,2617	15,2639	15,2814	15,3142
14	16,3746	16,3677	16,3683	16,3846	16,4169
15	17,2957	17,2783	17,2871	17,3021	17,3329
16	18,3877	18,3780	18,3768	18,3908	18,4217
17	19,3182	19,3072	19,3053	19,3181	19,3482
18	20,3989	20,3866	20,3840	20,3959	20,4256
19	21,3368	21,3233	21,3200	21,3310	21,3600
20	22,4087	22,3940	22,3900	22,4002	22,4288
21	23,3524	23,3368	23,3321	23,3415	23,3696
22	24,4172	24,4004	24,3952	24,4038	24,4315
23	25,3658	25,3481	25,3423	25,3502	25,3775
24	26,4247	26,4060	26,3997	26,4069	26,4339
25	27,3774	27,3579	27,3511	27,3576	27,3842
26	28,4314	28,4110	28,4036	28,4096	28,4358
27	29,3876	29,3664	29,3586	29,3640	29,3899
28	30,4374	30,4154	30,4071	30,4120	30,4376
29	31,3966	31,3738	31,3652	31,3695	31,3948
30	32,4429	32,4193	32,4102	32,4141	32,4391
31	33,4047	33,3804	33,3710	33,3743	33,3991
32	34,4478	34,4228	34,4130	34,4159	34,4405
33	35,4119	35,3863	35,3761	35,3786	35,4029
34	36,4523	36,4260	36,4155	36,4176	36,4417
35	37,4185	37,3916	37,3807	37,3824	37,4063
36	38,4565	38,4290	38,4178	38,4191	38,4428
37	39,4245	39,3964	39,3849	39,3858	39,4094
38	40,4603	40,4317	40,4198	40,4205	40,4438
39	41,4299	41,4007	41,3886	41,3889	41,4120
40	42,4638	42,4341	42,4217	42,4217	42,4447
41	43,4348	43,4047	43,3920	43,3917	43,4145
42	44,4671	44,4364	44,4234	44,4228	44,4455
43	45,4394	45,4083	45,3951	45,3942	45,4168
44	46,4701	46,4385	46,4250	46,4239	46,4463
45	47,4437	47,4116	47,3980	47,3965	47,4188
46	48,4729	48,4404	48,4265	48,4248	48,4470
47	49,4477	49,4147	49,4007	49,3986	49,4206
48	50,4756	50,4422	50,4279	50,4257	50,4476
49	51,4514	51,4175	51,4031	51,4006	51,2223
50	52,4781	52,4439	52,4292	52,4265	52,4482