

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR Mara Terumi  
Fukunaga E APROVADA PELA  
COMISSÃO JULGADORA EM 02/03/99.

  
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

# **Estudo do Pré – Tratamento Superficial de Fios de Aço Inoxidável ABNT 304 L para o Processo de Trefilação**

Autora: **Mara Terumi Fukunaga**

Orientador: **Rodnei Bertazzoli**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

# **Estudo do Pré – Tratamento Superficial de Fios de Aço Inoxidável ABNT 304 L para o Processo de Trefilação**

**Autora: Mara Terumi Fukunaga**

**Orientador: Rodnei Bertazzoli**

**Curso: Engenharia Mecânica**

**Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação**

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 1999

S.P. – Brasil

9915156



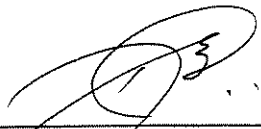
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Estudo do Pré – Tratamento Superficial de  
Fios de Aço Inoxidável ABNT 304 L para o  
Processo de Trefilação**

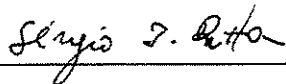
Autora: **Mara Terumi Fukunaga**

Orientador: **Rodnei Bertazzoli**



---

**Prof. Dr. Rodnei Bertazzoli**, Presidente  
Universidade Estadual de Campinas - FEM



---

**Prof. Dr. Sérgio Tonini Button**  
Universidade Estadual de Campinas - FEM



---

**Prof. Dr. Gustavo A. S. Martinez**  
Faculdade de Engenharia Química de Lorena - DEMAR

Campinas, 2 de março de 1999

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F955e Fukunaga, Mara Terumi  
Estudo do pré-tratamento superficial de fios de aço  
inoxidável ABNT 304 L para o processo de trefilação. /  
Mara Terumi Fukunaga. --Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Rodnei Bertazzoli  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Aço inoxidável austenítico. 2. Trefilação de arame  
3. Conformação de metais. I. Bertazzoli, Rodnei. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Mecânica. III. Título.

Dedico,

Aos meus pais e irmãos, por todo amor  
compreensão, incentivo e apoio.

## **Agradecimentos**

A Deus pela Sua presença e iluminação constantes.

Aos meus pais, pelo amor e dedicação com que me educaram e meus irmãos, pelo carinho, compreensão e apoio.

Ao Prof. Dr. Rodnei Bertazzoli pela paciência, apoio e constante orientação durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Gustavo A. S. Martinez pelo apoio e colaboração neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Sérgio Tonini Button pela colaboração e disponibilidade do equipamento, sem o qual parte deste trabalho não seria possível.

À Rita H. B. Jacon e Claudia S. C. Aoki, do Laboratório de Caracterização de Materiais, pelo auxílio técnico.

Ao Sr. Antonio Laerte Struzziato, da oficina mecânica, pela confecção dos suportes para a realização das medidas de rugosidade superficial.

Aos amigos do LACEA: Christiane, Émerson, Marcos, Maria de Fátima, Mário, Paulinho, Rosana e Rosângela, pelo apoio, carinho e amizade.

À INBRA pelo fornecimento do desengraxante Gardoclean V 351 M e lubrificante Dynacote.

A Aços Finos Piratini, pelo fornecimento dos fios de aço inoxidável ABNT 304L.

A todos os professores, funcionários e colegas do departamento, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

A todos os amigos pela presença, carinho, compreensão e apoio.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

## Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos e Justificativas	3
2	Revisão da Literatura	4
2.1	Trefilação	4
2.2	Aço inoxidável	11
2.3	Tratamento superficial	12
2.3.1	Fluxo de decapagem	13
2.4	Ensaio de polarização	17
3	Materiais e Métodos	20
3.1	Material em estudo	20
3.2	Reagentes utilizados	21
3.3	Processo de pré-tratamento superficial	22
3.4	Preparação das soluções	22
3.5	Medidas de rugosidade superficial	23
3.6	Medidas de ganho de massa	24
3.7	Ensaio potenciodinâmicos	25
4	Resultados e Discussões	26
4.1	Estudo do pré-tratamento superficial no processo de trefilação	26
4.2	Curvas de polarizações com os ácidos decapantes	44
5	Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	49
5.1	Conclusões	49
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	51
	Referências Bibliográficas	52



Апexo I	55
Апexo II	62
Апexo III	69
Апexo IV	72
Апexo V	77
Апexo VI	82

## Resumo

FUKUNAGA, Mara Terumi, *Estudo do Pré – Tratamento Superficial de Fios de Aço Inoxidável ABNT 304 L para o Processo de Trefilação*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1999. 84 p. Dissertação (Mestrado)

O tratamento térmico de recozimento é uma das etapas do processo de conformação plástica dos metais de trefilação para a produção de fios, devolvendo ao material a ductilidade perdida no estiramento. No entanto, provoca a formação de camadas de óxido prejudiciais a continuidade do processo de trefilação. A decapagem química tem como objetivo eliminar os produtos da oxidação, além de propiciar uma condição superficial que permita o recobrimento ou ancoragem do lubrificante antes do seguimento do processo. Com isso, pode-se notar que a realização do pré-tratamento na superfície do fio na trefilação tem grande importância e influencia na qualidade superficial do produto trefilado. Este trabalho apresenta o estudo do processo de pré-tratamento superficial através da utilização de vários ácidos decapantes, determinando qual a melhor composição da solução decapante, a concentração mais adequada, a temperatura e o melhor tempo de imersão no pré-tratamento de fios de aço inoxidável ABNT 304L nos diâmetros de 1,60mm e 3,00mm. Os resultados analisados estatisticamente e apresentados graficamente através da análise da rugosidade superficial e ganho de massa do lubrificante mostraram que a solução decapante de ácidos nítrico e clorídrico, na proporção de 4:1 e na concentração de 100mL/L, à temperatura ambiente e com o tempo de imersão de 15 minutos, foi a que melhor se comportou, apresentando ancoragem de lubrificante na superfície dos fios em torno de 20

g/m<sup>2</sup>. Complementando esta análise, os dados foram comparados com as curvas de polarizações potenciodinâmicas tomadas nas diversas soluções decapantes, as quais confirmaram os resultados experimentais obtidos anteriormente.

*Palavras-chave:* Pré-tratamento superficial, decapagem química, trefilação, aço inoxidável

## Abstract

FUKUNAGA, Mara Terumi, *Estudo do Pré – Tratamento Superficial de Fios de Aço Inoxidável ABNT 304 L para o Processo de Trefilação*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1999. 84 p. Dissertação (Mestrado)

During wiredrawing the thermal treatment of annealing and stress releasing is one of the most important step of the wire producing. However, this procedure lead to an oxide layer growth that presents a disadvantageous effect during wiredrawing. The main goal of the chemical pickling is to eliminate the surface oxidation products and to improve the recovering and adherence of the lubricating soap. This study deals with the wire pre-treatment of chemical pickling of stainless steel ABNT 304L using several acidic solutions, considering their composition, concentration, temperature e deeping time. Results are presented by statistical analysis of surface rugosity and mass gain of the lubricating soap as a function of the above parameters. Data shown that nitric/chloridric solution, in the ratio 4:1 and concentration of 100mL/L presented better results using soaking time of 15 minutes at room temperature. In the above situation a 20g/m<sup>2</sup> of lubricating has been observed on the wire surface. As a complement of the analysis, data of potentiodynamic polarizations were compared confirming the results obtained in the deeping experiments.

*Keywords:* Surface pre-treatment, chemical pickling, wiredrawing, stainless steel

## Lista de Figuras

2.1 - Processo de trefilação de fios	5
2.2 - Elementos básicos de um tribo - sistema de trefilação	6
2.3 - Curva de Stribeck	8
2.4 - Lubrificante sólido para trefilação	9
2.5 - Escoamento em cunha do fluido (a) Perfil de velocidade na entrada e saída da região de deformação (b) Distribuição de pressão na região de deformação	10
2.6 - Seqüência de etapas para processamento de fios trefilados	16
2.7 - Curva de polarização anódica (ia) e curva de polarização catódica (ic) num diagrama logarítmico. $E_e$ = potencial de equilíbrio, $i_o$ = corrente de corrosão	18
2.8 - Curva de polarização típica de metais que apresentam o fenômeno de passivação num determinado meio	19
4.1 - Rugosidade normalizada em função do tempo de decapagem nas soluções ácidas indicadas com concentração de 50mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	28
4.2 - Rugosidade normalizada em função do tempo de decapagem nas soluções ácidas indicadas com concentração de 100mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	29
4.3 - Rugosidade normalizada em função do tempo de decapagem nas soluções ácidas indicadas com concentração de 200mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	30
4.4 - Ganho de massa normalizada pela área em função do tempo de imersão nas soluções ácidas indicadas com concentração de 50mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	31

4.5 - Ganho de massa normalizada pela área em função do tempo de imersão nas soluções ácidas indicadas com concentração de 100mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	32
4.6 - Ganho de massa normalizada pela área em função do tempo de imersão nas soluções ácidas indicadas com concentração de 200mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	33
4.7 - Ganho de massa do Dynacote por área em função da proporção de ácido clorídrico nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	35
4.8 - Rugosidade normalizada em função da temperatura das soluções ácidas indicadas com concentração de 100mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	37
4.9 - Rugosidade normalizada em função da temperatura das soluções ácidas indicadas com concentração de 200mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	38
4.10 - Ganho de massa normalizada pela área em função da temperatura das soluções ácidas indicadas com concentração de 100mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	40
4.11 - Ganho de massa normalizada pela área em função da temperatura das soluções ácidas indicadas com concentração de 200mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	41
4.12 - Ganho de massa do Dynacote por área em função da proporção de ácido clorídrico em diversas temperaturas de decapagem nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm	43
4.13 - Curvas de polarizações da solução de HNO <sub>3</sub>	44
4.14 - Curvas de polarizações da solução de HNO <sub>3</sub> / HCl	45
4.15 - Curvas de polarizações da solução de HNO <sub>3</sub> / HCl com proporções variadas	46
4.16 - Curvas de polarizações da solução de HNO <sub>3</sub> / HCl / HF	47
4.17 - Curvas de polarizações da solução de HNO <sub>3</sub> / HF	47

## Lista de Tabelas

2.1 - Banhos comuns	14
3.1 - Composição Química do Aço Inoxidável ABNT 304 L [%]	20
3.2 - Caracterização dos ácidos decapantes	21
3.3 - Sequência do processo de pré - tratamento superficial dos fios	22
3.4 - Soluções ácidas decapantes	23
I.A – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 50mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	56
I.B – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 50mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	57
I.C – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 100mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	58
I.D – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 100mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	59
I.E – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 200mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	60
I.F – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 200mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	61

II.A – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 50mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	63
II.B – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 50mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	64
II.C – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 100mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	65
II.D – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 100mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	66
II.E – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 200mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	67
II.F – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 200mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente	68
III.A – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando a solução decapante $\text{HNO}_3/\text{HCl}$ na concentração de 100mL/L, com o tempo de imersão de 15 minutos à temperatura ambiente, nas diversas concentrações de ácido clorídrico	70
III.B – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando a solução decapante $\text{HNO}_3/\text{HCl}$ na concentração de 100mL/L, com o tempo de imersão de 15 minutos à temperatura ambiente, nas diversas concentrações de ácido clorídrico	71
IV.A – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 100mL/L nas diversas temperaturas e tempo de imersão de 15 minutos	73



IV.B – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 100mL/L nas diversas temperaturas e tempo de imersão de 15 minutos	74
IV.C – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 200mL/L nas diversas temperaturas e tempo de imersão de 15 minutos	75
IV.D – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 200mL/L nas diversas temperaturas e tempo de imersão de 15 minutos	76
V.A – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 100 mL/L com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas	78
V.B – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 100 mL/L com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas	79
V.C – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 200 mL/L com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas	80
V.D – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 200 mL/L com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas	81
VI.A – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando a solução decapante HNO <sub>3</sub> /HCl na concentração de 100mL/L, nas diversas concentrações de HCl com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas	83
VI.B – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando a solução decapante HNO <sub>3</sub> /HCl na concentração de 100mL/L, nas diversas concentrações de HCl com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas	84

## Nomenclatura

$R_0$  – Rugosidade do fio antes da decapagem química ( $\mu\text{m}$ )

$R$  – Rugosidade do fio após decapagem química ( $\mu\text{m}$ )

$M_0$  – Massa da amostra após decapagem química (g)

$M$  – Massa da amostra após imersão no Dynacote (g)

$E$  – Potencial (V)

$E^*$  - Potencial de equilíbrio (V)

$I$  – Corrente (A)

$I_{\text{crit}}$  – Corrente crítica (A)

$I_p$  – Corrente de passivação (A)

$E_F$  – Potencial de Flade (V)

$i$  – Corrente de corrosão (A)

$c$  – Concentração das soluções ácidas decapantes (mL/L)

$A$  – Área de  $1 \text{ cm}^2$

ECS - Eletrodo de calomelano saturado

# Capítulo 1

## Introdução

Cosslett [1971] e Dove [1965] apresentam um breve histórico sobre o aparecimento e desenvolvimento dos fios metálicos, verificando que os fios estavam em uso desde 3.000 A.C., presentes em jóias dos faraós egípcios. Na época, o fio era produzido através de martelamento, transformando pequenos lingotes em placas, depois fitas e finalmente o fio estirado.

Em 1350, Rudolf de Nuremberg introduziu o primeiro equipamento de trefilação mecânico, movido por força hidráulica. Na mesma época, houve o aparecimento de uma indústria de arame metálico na Inglaterra, mas a técnica manual continuou sendo a forma de obtenção desses fios por aproximadamente mais dois séculos.

No ano de 1564, a Rainha Elizabeth I convidou um grupo alemão experiente no estiramento de fios metálicos para colocar em prática seus conhecimentos em uma indústria em Tintern na Inglaterra. Rapidamente eles obtiveram, devido às suas habilidades, êxito no trabalho. Com o passar do tempo, o processo de trefilação foi melhorando, até que por volta de 1860 houve um aumento muito grande na produção.

No Brasil, o consumo anual de aços não planos oscila em torno de 20 mil toneladas e apresenta claros indícios de expansão [M.M.,1995]. A utilização do aço inoxidável trefilado vem crescendo principalmente devido a sua alta plasticidade que permite a

transformação a frio, sua capacidade de encruamento e elevada a resistência mecânica [Zabala, 1977].

Com o crescimento da utilização dos aços inoxidáveis trefilados tem-se a exigência do aumento da produtividade e conseqüentemente maior velocidade de trefilação, sem que haja perda na qualidade do produto e elevação dos custos. Mas para garantir um bom desempenho no processo é necessário estudar e otimizar algumas etapas referentes ao tratamento térmico de recozimento do fio que ocasiona o aparecimento de uma camada de óxido que é prejudicial na trefilação e deve ser eliminada através do processo de decapagem química, à interação metal-ferramenta, e ao desgaste da fieira, de forma a proporcionar boa qualidade superficial do produto final.

Durante o processo de trefilação é importante manter separadas a interface metal-ferramenta evitando o atrito, aquecimento e desgaste. Para impedir esse contato, é de extrema importância a introdução e a manutenção de uma substância denominada lubrificante [Pires,1977]. Isto garante que a fieira, ou seja, ferramenta de trefilação sofra pouco ou nenhum desgaste, permitindo assim, a trefilação de grande quantidade de fios sem que haja a necessidade de paradas no processo para substituir a ferramenta [Avitzur, 1983]. Estas providências têm reflexo na qualidade superficial do produto trefilado, que é muito importante para dar continuidade ao processo e imprescindível para a sua utilização como produto acabado.

O estudo do pré – tratamento superficial no processo de trefilação é um fator de extrema importância para resolver ou atenuar os diversos problemas mencionados acima, pois possibilita a eliminação da camada de óxido que é prejudicial ao processo de trefilação, a introdução e a manutenção de camadas de lubrificante, maior produção de fios e uma melhora na qualidade superficial

Portanto, é de extrema importância estudar o pré–tratamento superficial de forma a permitir uma boa aderência, ancoragem e carreamento do lubrificante, evitando assim o

atrato entre fio e fieira no processo de trefilação, permitindo a obtenção de fios com boa qualidade superficial e, conseqüentemente maior produtividade e menores custos.

## **1.1 – Objetivo do trabalho**

A obtenção de produtos industriais com ótima qualidade tem sido a maior exigência do mercado nestes últimos tempos, sendo este o motivo de maior preocupação dos fabricantes de fios.

No caso do processo de trefilação, tem-se como objetivo a obtenção de fios metálicos com dimensões, propriedades mecânicas e condições superficiais controladas. Mas são vários os fatores que influenciam para alcançar tal objetivo. A obtenção de um fio com boa qualidade superficial depende de fatores como lubrificação adequada para que não haja contato direto metal/fieira, o que ocasiona atrito e desgaste de ambos, material e geometria da fieira a ser utilizada, a escolha correta do lubrificante, entre outros.

Para se obter uma boa lubrificação, a etapa de pré – tratamento superficial dos fios é de extrema importância no processo como um todo.

Este trabalho tem como objetivo estudar o pré - tratamento superficial de fios de aço inoxidável ABNT 304L nos diâmetros de 1,60 e 3,00 mm para o processo de trefilação, de forma a verificar o comportamento desses fios quanto a rugosidade e ganho de massa de lubrificante carreador. Para tanto, na decapagem química foram utilizados diversos ácidos decapantes, com a finalidade de determinar qual a melhor composição da solução decapante, a concentração mais adequada, a temperatura e o melhor tempo de imersão dos fios nas soluções.

## Capítulo 2

### Revisão da Literatura

#### 2.1 - Trefilação

Trefilação é um processo de conformação plástica a frio no qual um fio metálico passa por uma ferramenta oca denominada fieira, sendo o diâmetro do fio reduzido e o comprimento aumentado. Este processo tem como objetivo a obtenção de fios metálicos com dimensões, propriedades mecânicas e condições superficiais controladas [Bresciane, Button, et all, 1991].

Desde o primeiros estudos do processo de trefilação (Figura 2.1), tem-se tratado de estabelecer uma relação entre a força necessária para a trefilação e as variáveis do processo como a lubrificação, ferramenta, velocidade, entre outras.

Avitzur [1983], Bonzel [1935], Wistreich [1958], entre outros, realizaram vários estudos que consideram a existência de fatores fundamentais para a realização do processo de trefilação, entre os quais o atrito.

Segundo Button [1990], em todos os processos de fabricação de peças metálicas ocorrem fenômenos associados à interação existente entre as superfícies das ferramentas e da peça - trabalho, mantidos em contato sob pressões elevadas. No processo de trefilação o contato ocorre entre a superfície da fieira (figura 2.2) e do fio a trefilar.

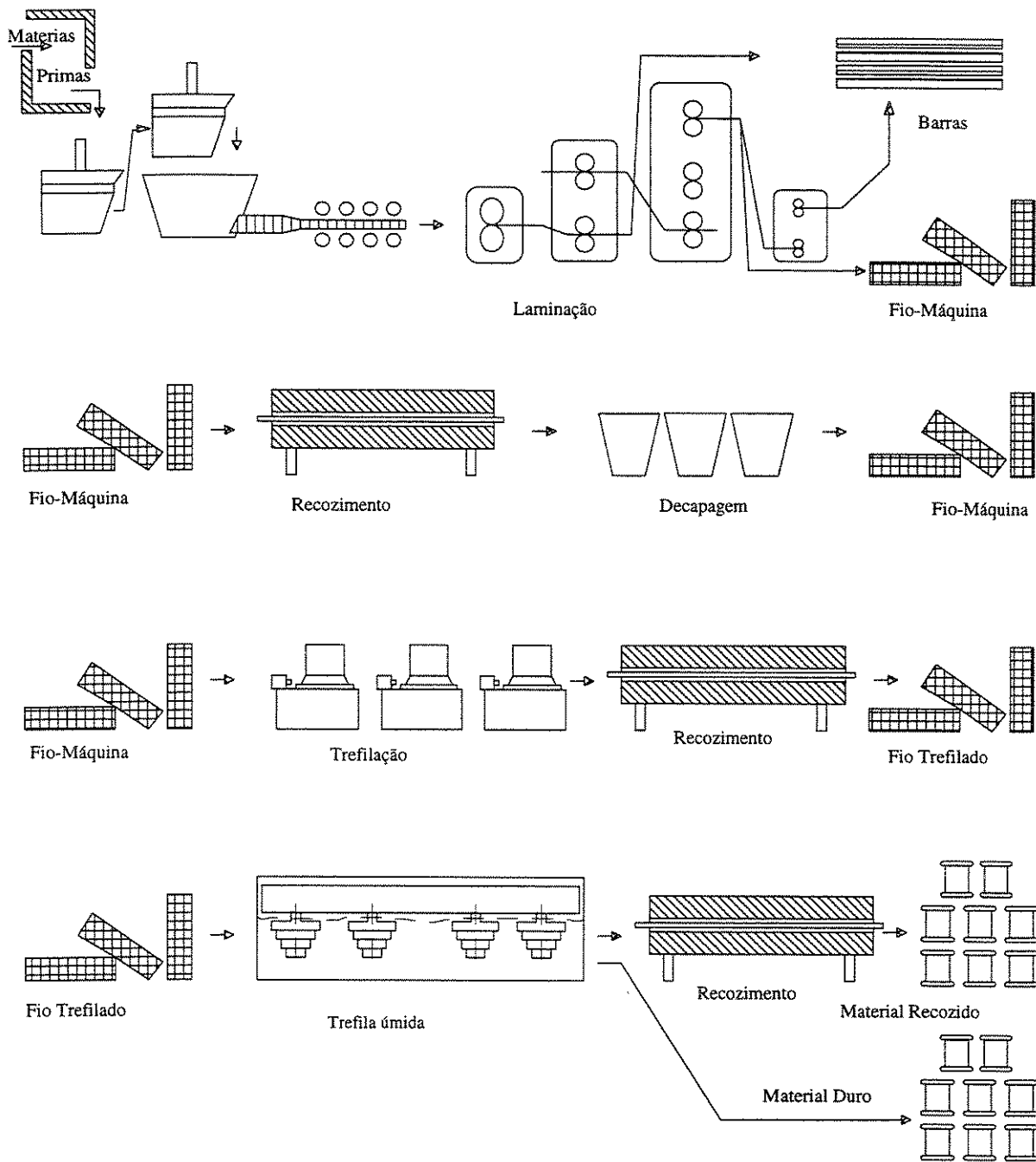
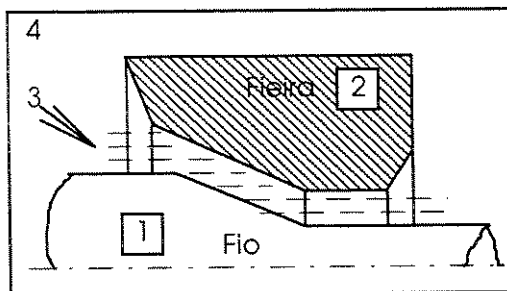


Figura 2.1 - Processo de trefilação de fios [Martinez,1993]

Na trefilação o material a conformar é deformado por meio de contato com a ferramenta. A pressão necessária para a deformação gera uma tensão normal à superfície da ferramenta, e o movimento relativo do material a conformar com a superfície da ferramenta gera uma tensão tangencial na interface [Martinez, 1998]. Assim, surge uma situação tribológica com atrito na interface fieira - fio com capacidade para desgaste de ambas.



- |                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| 1. Tribo-elemento móvel        | - Fio          |
| 2. Tribo-elemento estacionário | - Fieira       |
| 3. Tribo-elemento interfacial  | - Lubrificante |
| 4. Tribo-elemento meio         | - Atmosfera    |

Figura 2.2 - Elementos básicos de um tribo - sistema de trefilação [Martinez,1998]

Segundo Lange [1985] e Pires [1977] para aliviar estes efeitos utiliza-se um lubrificante, definido como uma substância de baixa resistência ao cisalhamento interposta entre duas superfícies. Os lubrificantes podem ser sólidos, pastosos ou líquidos. O objetivo do lubrificante é impedir o contato direto entre dois corpos, evitando assim o cisalhamento e arrancamento de partes do fio e da fieira.

Escolher o lubrificante adequado é uma das dificuldades que existe em qualquer processo [Alkire, et all, 1989]. Na trefilação a escolha baseia-se em parâmetros como o material da ferramenta e do fio, a velocidade e a temperatura de processo.

Com a chegada das máquinas de múltiplas fieiras surgiram novas dificuldades, a própria característica dessas máquinas, ou seja, menores reduções de secção transversal do



fio metálico entre passes, possibilita a ocorrência de um efeito acumulativo na temperatura do arame, pois o arame entra nas fieiras com velocidades crescentes conforme ele vai avançando na máquina. Este efeito pode ocasionar o superaquecimento do lubrificante, o aumento do atrito na superfície e conseqüentemente, maior desgaste com a qualidade superficial do fio prejudicada.

Existem várias vantagens de uma boa lubrificação [Cockcroft, 1967] citado por [Martinez, 1997]:

- Redução de atrito: valores elevados de atrito conduzem a perdas de potência e aumento das cargas de trabalho das máquinas de conformação. Isto também é importante pois uma carga elevada conduz a tensões elevadas no fio trefilado, que podem provocar a sua ruptura.

- Redução do desgaste: a redução do desgaste da ferramenta reflete no custo da operação, nas tolerâncias dimensionais e nos acabamentos superficiais do produto. A presença do lubrificante, além de reduzir o contato metal - ferramenta, em alguns casos, atua como refrigerante.

- Controle da deformação: na medida em que o lubrificante controla o atrito, ele também condiciona a distribuição das deformações de forma a minimizar o aparecimento de defeitos.

A separação total das superfícies fio e fieira é atingida somente quando se tem uma espessura de camada de lubrificante de, no mínimo, três vezes o valor da soma das rugosidades superficiais dos tribo - elementos fio e fieira [Wilson,1979]. Esta é uma condição de regime lubrificação hidrodinâmica de filme fino.

A figura 2.3 apresenta a curva de Stribeck [Wright, 1997] onde se verifica a relação da variação da espessura do filme lubrificante com os diversos regimes de lubrificação.

A curva mostra que a baixas velocidades (regime 1), a quantidade de lubrificante carregada para a região de contato é mínima, não sendo suficiente, somente algumas camadas de lubrificante aderem às superfícies, o contato existente entre as peças é grande, bem como o coeficiente de atrito. Este período é caracterizado como regime de camada limite.

Com o aumento da velocidade, assumindo que a viscosidade e força permaneçam constantes, uma quantidade maior de lubrificante é trazida à região de contato, preenchendo os vales separados por passagens estreitas entre picos (regime 2), diminuindo assim o atrito. Com o decorrer do processo, mais e mais lubrificante é trazido para os vales até que se estabeleça um regime misto.

O regime hidrodinâmico (regime 3) representa a presença de um filme contínuo entre as superfícies. A sua existência é possível devido a deformação provocada nos picos, que ao torná-los mais planos, faz com que o lubrificante existente nos vales seja distribuído ao longo das superfícies, separando-as totalmente. Explica-se a queda do coeficiente de atrito pela crescente separação das superfícies. Já o aumento do coeficiente, após atingir-se o regime hidrodinâmico, pode ser explicado observando-se a quantidade de lubrificante presente entre as superfícies, bem como a pressão a que estará submetido o filme.

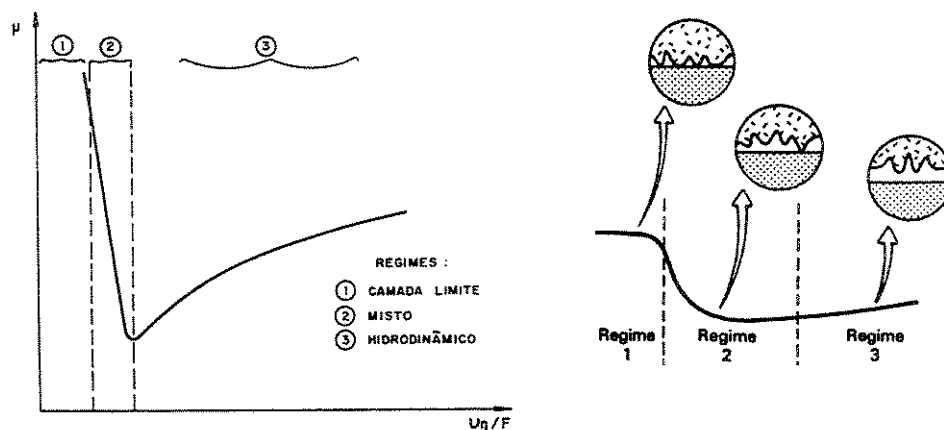


Figura 2.3 - Curva de Stribeck [Wright,1997]

Os lubrificantes sólidos (sabões) usados nos processos de trefilação (figura 2.4) são produtos resultantes da reação de ácidos graxos saturados ou não com hidróxidos metálicos, podendo ter como complemento, aditivos para altas pressões e temperaturas e cal. Os ácidos graxos normalmente utilizados são derivados de matéria prima animal (sebo) e/ou vegetal (óleos) obtidos através de processos de prensagem ou de desdobramento/destilação [Martinez,1993], [SpA, 1991].

Os lubrificantes sólidos devem ser aderentes a metais, possuir pequena resistência ao cisalhamento, estabilidade em altas temperaturas, serem quimicamente inertes e ter elevado coeficiente de transmissão de calor.

A granulometria do sabão influencia na espessura da camada lubrificante e consequentemente na eficiência da lubrificação. Sabões de granulometria muito fina (>50 Mesh), tendem à formação de túneis e os de granulometria muito grossa (<10 Mesh) são mais difíceis de arraste pelo arame.

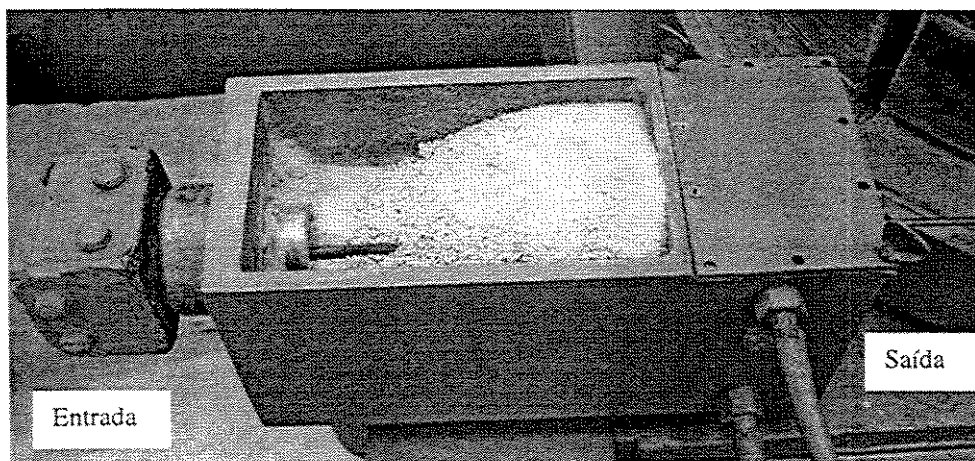
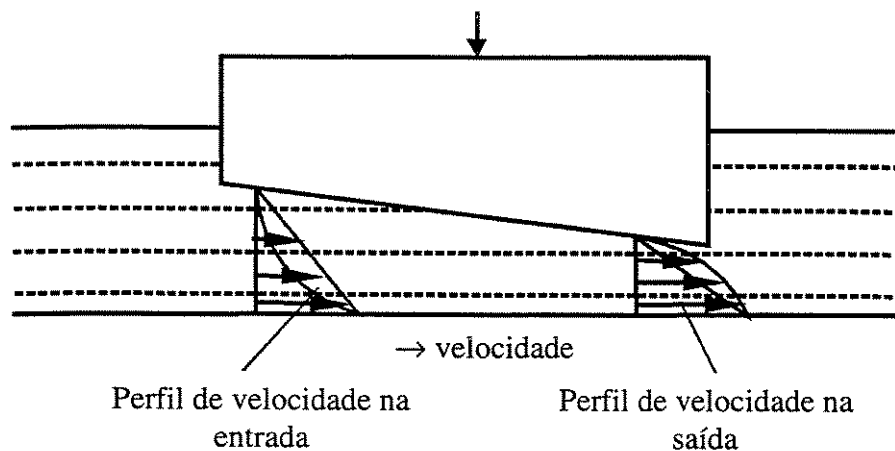


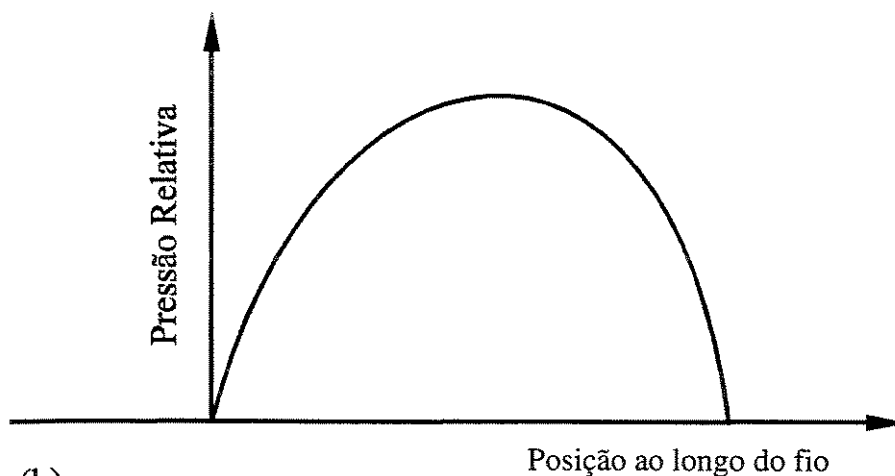
Figura 2.4 - Lubrificante sólido para trefilação

O mecanismo de arraste é um dos principais elementos para possibilitar uma camada fina ou espessa de lubrificante. Este mecanismo (figura 2.5), obtido da inter-relação velocidade do fio e região de trabalho da fieira, permite que o filme lubrificante seja levado

para a zona de conformação por um efeito de “cunha” [Cheng,1992] citado por [Martinez,1997].



(a)



(b)

Figura 2.5 - Escoamento em cunha do fluido [Cheng,1992].

(a) Perfil de velocidade na entrada e saída da região de deformação.

(b) Distribuição de pressão na região de deformação

Pelo apresentado verifica-se a importância do tribo - elemento móvel, ou seja, o fio. A condição superficial inicial do material a ser trefilado é um dos fatores mais importantes

que influenciam a trefilação [Sargent e Tsao,1980], pois determina o regime de lubrificação na zona de deformação pelo carreamento e manutenção do lubrificante durante a trefilação.

## 2.2 – Aço inoxidável

São considerados aços inoxidáveis aqueles que apresentam teor de cromo acima de 12%, caracterizando ao material maior resistência à corrosão e à oxidação. A resistência à corrosão destes aços está associada ao fenômeno de passivação, ou seja, a presença de uma fina camada de óxido na superfície metálica que protege o material do meio que o circunda e é mantida por forças atômicas[Chiaverini, 1977], [Mei e Silva, 1988].

Os aços inoxidáveis constituem uma família muito grande de ligas metálicas e são divididos em três grupos principais, austeníticos, ferríticos e martensíticos.

Os aços inoxidáveis austeníticos tem ótima resistência a corrosão atmosférica, embora uma atmosfera salina possa causar alguma oxidação. Resistem a ácido nítrico concentrado, aos ácidos existentes em frutas, ácidos láctico, butírico, benzóico, oleico, etc. Por outro lado, a resistência à corrosão em ácidos sulfúrico e clorídrico é fraca, mesmo a baixas concentrações [S.S.H.,1959]. A ampla utilização destes aços deve-se a uma combinação favorável de uma série de propriedades como resistência à corrosão e à oxidação, trabalhabilidade e soldabilidade [Padilha e Guedes, 1994].

Os aços austeníticos de baixo teor de carbono, do tipo L, com máximo 0,03% C, são usados cada vez mais devido a sua boa resistência a corrosão intergranular, não exigindo tratamento térmico subsequente as operações de soldagem. Os aços inoxidáveis austeníticos L podem ser polidos com muito mais facilidade do que os aços estabilizados com titânio ou nióbio. O aço inoxidável austenítico ABNT 304L apresenta uma elevada plasticidade, o que permite sua deformação a frio até valores de 92 % de redução da seção transversal entre recozimentos [Martinez,1993].

Segundo Schultz [1974] a aplicação dos aços inoxidáveis austeníticos é muito ampla devido as diversas características que apresentam. São utilizadas em equipamentos, estruturas, tubulações, etc, com a confecção de peças torneadas (parafusos, pinos, porcas, etc ), peças para construção mecânica (rebites, tirantes, fios para molas, etc ), cabos, válvulas, fios para telas, etc, para diversas indústrias como alimentícia, leiteira, química, petroquímica, farmacêutica, aeronáutica, elétrica, automotiva e muitas outras.

### **2.3 – Tratamento superficial**

O tratamento de superfícies em processos de fabricação está classificado em dois grupos principais [S.S.F, 1959]:

- 1 – Aqueles relacionados à limpeza e
- 2 – Aqueles relacionados à produção de vários acabamentos durante a fabricação.

O primeiro grupo inclui remoção de sujeiras, poeiras, óleos, graxas, camadas de óxidos resultantes de tratamento térmico, entre outros. No segundo grupo estão incluídos os tratamentos de polimentos, eletrodeposição, pinturas, etc.

O tratamento superficial no processo de fabricação de fios (trefilação) está classificado no grupo um, onde se tem o objetivo de fazer a remoção de sujeira, óleos e graxas com um desengraxamento e posterior remoção de camada de óxido através de uma decapagem para dar sequência ao processo.

Entende-se então como decapagem [ABM, 1971] o processo de remoção da camada de óxido da superfície metálica, seja ela resultante do tratamento térmico (carepa), ou de corrosão eletroquímica (ferrugem).

A forma de eliminação destas camadas de óxido é feita através da decapagem mecânica e/ou química. A decapagem mecânica, de uma forma geral, envolve a aplicação

de jatos abrasivos, escovamento, tamboreamento, etc. No caso específico de fio - máquina para trefilação a operação mais comum consiste em passá-lo através de um sistema de roldanas onde a carepa de laminação, por ser quebradiça e não ter o mesmo coeficiente de expansão do aço, se fende permitindo a remoção dos óxidos da superfície do material. A complementação é feita passando-se o fio - máquina através de palhas ou escovas de aço.

Numa boa decapagem mecânica, espera-se que a remoção da carepa de laminação seja da ordem de 90% ou mais. Os óxidos remanescentes devem ser retirados através de decapagem química.

### **2.3.1 – Fluxo de pré - tratamento**

A decapagem química consiste basicamente na imersão contínua ou estacionária do material a ser decapado numa solução de ácido previamente diluído em água, com aquecimento ou não, seguido de lavagem, posterior neutralização e secagem [Wood, 1982].

Antecedendo a imersão no ácido é necessário a realização de um desengraxamento em banhos alcalinos ou solventes orgânicos para a remoção de óleo ou graxa. O desengraxamento alcalino é o método mais antigo e mais importante, pois é um processo econômico e aplicável em diversos setores. Com relação aos solventes orgânicos clorados, tais como tricloroetileno e percloroetileno, o desengraxe alcalino tem a vantagem de ser fisiologicamente menos perigoso [ABM, 1971].

Após o desengraxamento, uma boa lavagem com água é essencial para a remoção do produto alcalino. A temperatura da água pode ser fria, morna ou quente. A lavagem com água fria é menos eficiente que a morna, mas é bastante utilizada. A água quente pode promover a rápida formação de um filme óxido comumente conhecido de “flash rust” [Cotell, et all, 1994].

A tabela 2.1 apresenta os banhos mais comuns no pré-tratamento do aço inoxidável.

Tabela 2.1 - Banhos comuns [Martinez, 1993].

<p>Banho desengraxante: (alcalino)</p> <p>temperatura - 80 a 90 °C</p> <p>tempo de imersão - 20 a 30 minutos.</p>
<p>Banho de ácido sulfúrico:</p> <p>temperatura - 60 a 70 °C</p> <p>tempo de imersão - 20 a 30 minutos.</p>
<p>Banho decapante: ácido nítrico</p> <p>temperatura - ambiente</p> <p>tempo de imersão - 5 a 15 minutos (rápida)</p>
<p>Banho decapante: ácido nítrico + fluorídrico</p> <p>temperatura - ambiente</p> <p>tempo de imersão - 1 a 10 minutos (rápida)</p>
<p>Banho de água quente:</p> <p>temperatura - 95 a 100 °C</p> <p>tempo de imersão - 5 a 10 minutos</p>
<p>Banho lubrificante especial: (Dynacote)</p> <p>temperatura - 90 °C</p> <p>tempo de imersão - 5 a 10 minutos.</p>
<p>Estufa para secagem:</p> <p>temperatura - 90 a 100 °C</p>

Na decapagem química dos aços inoxidáveis, os ácidos geralmente utilizados são nítrico, fluorídrico, sulfúrico e clorídrico [S.S.F, 1959]. O ácido nítrico tem a característica de promover e preservar a condição passiva dos aços inoxidáveis. Em contraste com os outros ácidos, não age de forma a destruir a camada de óxido em certas concentrações. A corrosão do aço inoxidável austenítico pelo  $\text{HNO}_3$  é intensificado pelo aumento da



temperatura e/ou da concentração do ácido [Craig e Anderson, 1995]. Os ácidos fluorídrico e clorídrico possuem a capacidade de destruir a camada de óxido através da penetração de seus íons em pontos ou áreas localizadas [Gentil, 1987]. O ácido fluorídrico é um produto químico perigoso, altamente corrosivo à pele, olhos, pulmão e membranas mucosas. Para evitar os perigos envolvidos com o manuseio e uso do fluorídrico, o ácido clorídrico é utilizado em seu lugar, já que possui a mesma capacidade de destruição da camada de óxido existentes nos aços inoxidáveis [S.S.F., 1959], [Craig e Anderson, 1995].

A lavagem do material após a remoção da camada de óxidos tem que ser realizada de forma cuidadosa para a remoção dos resíduos ácidos. No processo de trefilação, a lavagem mal executada pode comprometer todos os processos posteriores como a contaminação do banho lubrificante, oxidação precoce dos produtos acabados, lubrificação deficiente, superfície de má qualidade para recobrimentos posteriores, entre outros.

A figura 2.6 apresenta o fluxograma para os mais diversos tipos de decapagem comumente utilizados em trefilação de aço inoxidável [Martinez,1993].

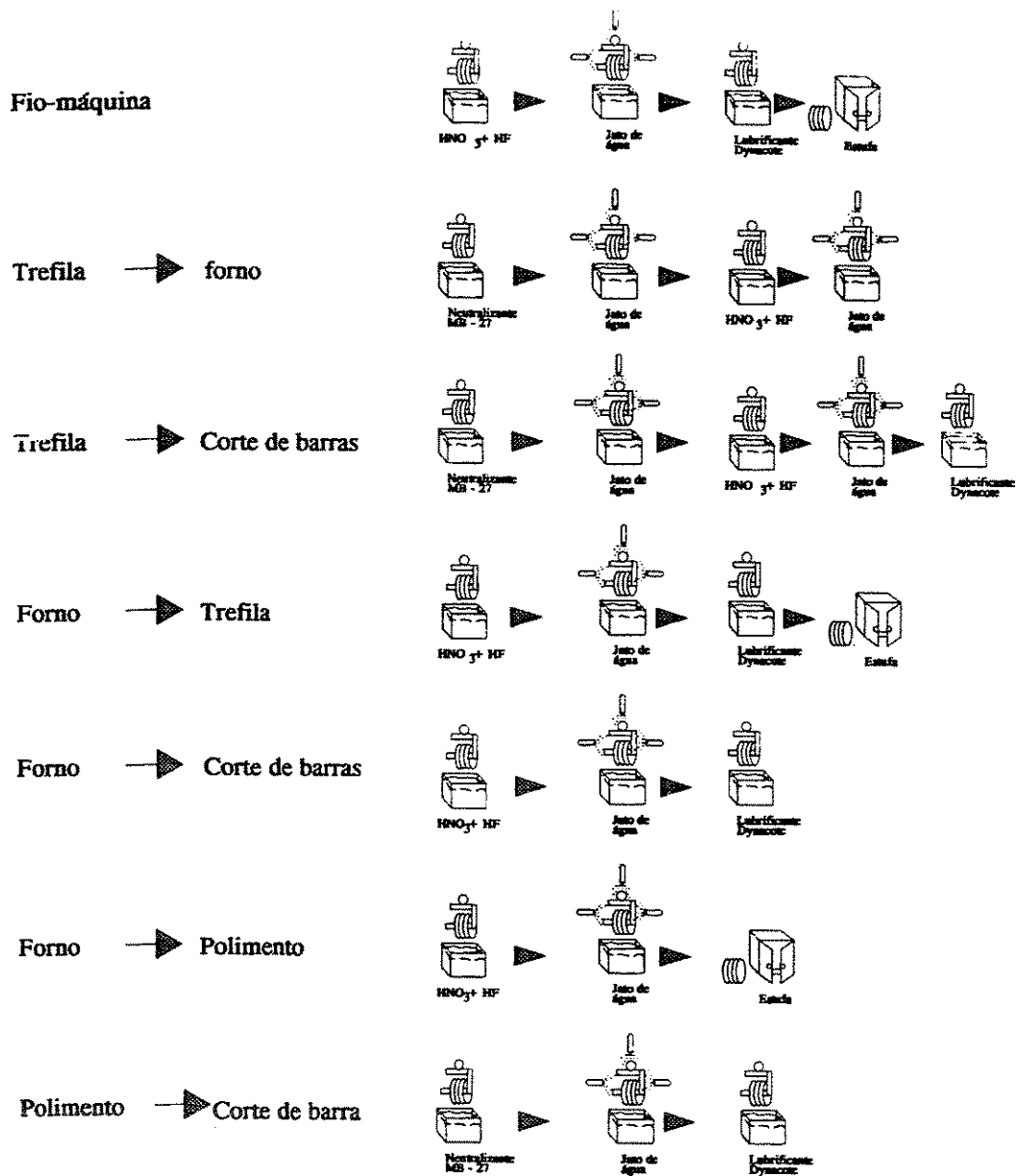
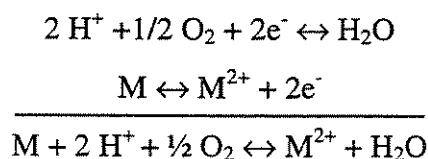


Figura 2.6 - Sequência de etapas para processamento de fios trefilados [Martinez,1993]

#### 4.2.1 - Ensaio de Polarização [Rosa, 1997], [Magnabosco, 1996]

Os processos de corrosão em meio aquoso com pH ácido e em presença de oxigênio são resultantes da formação de uma pilha galvânica onde a reação catódica é representada pela redução do hidrogênio e a reação anódica é a oxidação do metal, ou a corrosão propriamente dita, de tal forma que a reação total é:



Cada uma destas reações possui um potencial de equilíbrio e a soma destes representa a diferença de potencial gerada pela pilha. A corrente gerada por esta ddp é a responsável pelo processo de corrosão e indica a velocidade do processo corrosivo, ou a velocidade com que a massa metálica é removida.

O ensaio de polarização altera esta condição de equilíbrio através de uma varredura de potencial para valores mais negativos e mais positivos que o potencial de equilíbrio. Neste ensaio a velocidade das reações de redução do hidrogênio e de oxidação do metal são aumentadas deliberadamente. O resultado da aplicação de potenciais crescentes ao sistema fornece um gráfico de potencial em função do logaritmo da corrente resultante, separada em duas componentes: catódica e anódica. A figura 2.7 apresenta um esquema representativo de tal situação. A partir deste gráfico as curvas são extrapoladas para a situação de equilíbrio, de onde se obtém a corrente de corrosão de um dado metal em um determinado meio.

No caso de metais que sofrem processo de passivação, o comportamento da curva anódica é diferente. Com o crescimento de um filme passivante na superfície do metal a corrente diminui. Pode-se caracterizar passividade, como a existência de um filme que diminui a taxa de corrosão ainda que o material sofra corrosão ativa. A Figura 2.8 mostra uma curva de polarização anódica para um metal que pode ser passivado. Inicialmente, a

corrente aumenta com o aumento do potencial. No entanto, a partir de um valor de potencial, característico para cada sistema metal/meio, denominado potencial de Flade,  $E_F$ , verifica-se uma diminuição brusca de corrente. Este ponto indica que sobre a superfície do metal formou-se a película protetora e que a corrente não variará com o aumento do potencial. A corrente correspondente ao potencial de Flade, a máxima corrente obtida antes da passivação é denominada corrente crítica,  $I_{crit}$ . Após a passivação, a corrente é constante e muito baixa, recebendo o nome de corrente de passivação,  $I_p$ . A região da curva em que a polarização é de ativação denomina-se região ativa e, a região em que o metal está passivado, região passiva.

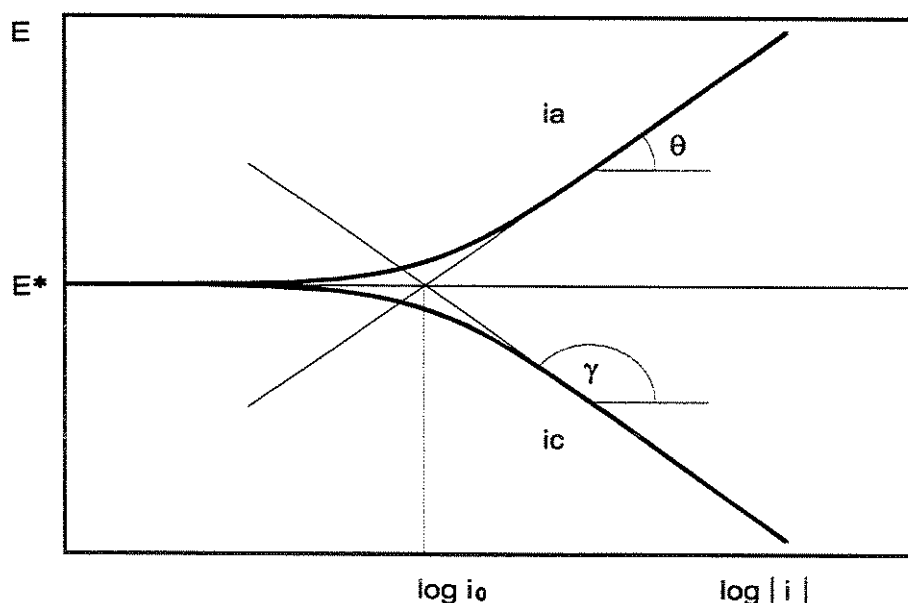


Figura 2.7 - Curva de polarização anódica ( $i_a$ ) e curva de polarização catódica ( $i_c$ ) num diagrama logarítmico.  $E^*$  = potencial de equilíbrio,  $i_0$  = corrente de corrosão.

A figura 2.8 mostra uma curva de polarização onde o filme de óxido é extremamente estável para potenciais acima do potencial de Flade e apresenta alta resistividade elétrica, de modo que é improvável a passagem de corrente elétrica através da película.

O aço inoxidável, utilizado nestes ensaios, geralmente possui esta característica devido a presença de cromo na sua composição.

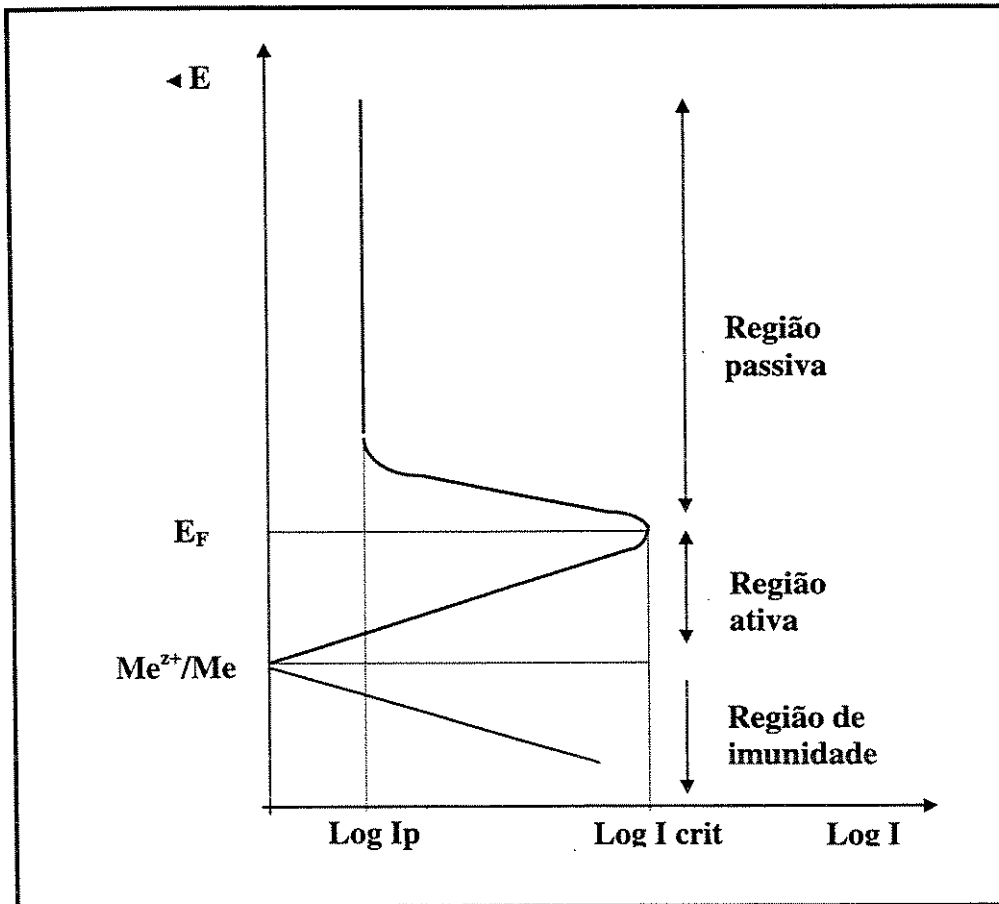


Figura 2.8 - Curva de polarização típica de metais que apresentam o fenômeno de passivação num determinado meio

## Capítulo 3

### Materiais e Métodos

O estudo das soluções ácidas utilizadas na decapagem química no processo de pré-tratamento superficial de fios de aço inoxidável ABNT 304L para o processo de trefilação foi realizado em duas fases. A primeira fase consistiu na análise da rugosidade superficial dos fios antes e após a decapagem química, seguida do acompanhamento do ganho de massa como forma de monitorar a ancoragem do lubrificante nos fios. A segunda fase consistiu em fazer polarizações com o fio nas diversas soluções ácidas e verificar as condições nas quais ocorre ou não a passivação do material metálico.

#### 3.1 - Material em estudo

O material utilizado neste estudo é o fio de aço inoxidável ABNT 304L recozido, nos diâmetros de 1,60mm e 3,00mm, cuja composição química apresenta-se na tabela 3.1 [ADM, 1998].

Tabela 3.1 - Composição Química do Aço Inoxidável ABNT 304L [%]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,017	0,460	1,710	0,038	0,012	18,670	10,180

Os fios foram cortados para a confecção dos corpos de prova no comprimento de 50mm cada. Foram utilizadas três amostras para cada situação experimentada.

### 3.2 – Reagentes utilizados

Foram usados ácidos nítrico e fluorídrico da marca Synth e o ácido clorídrico fumegante da Merck na decapagem química. As caracterizações dos ácidos estão apresentadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Caracterização dos ácidos decapantes

	Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )	Ácido fluorídrico (HF)	Ácido clorídrico (HCl)
P.M. (g/mol)	63,01	20,01	36,46
Dosagem (%)	64-66	48-51	37

O material empregado no desengraxamento foi o Gardoclean V 351 M, produto de limpeza alcalina aplicado em processos de imersão para remoção de óleos, gorduras e sujeiras da superfície de aços. É um produto comercial produzido pela Chemetall do Brasil Ltda.

Como lubrificante carreador, utilizou-se o produto comercial Trafiflex BS/Dynacote produzido pela Chemetall do Brasil Ltda, o qual oferece uma cobertura não higroscópica que tem as finalidades de proporcionar maior arraste de sabão e neutralizar os vestígios de ácidos provenientes da decapagem

### 3.3 - Processo de pré - tratamento superficial

Toda a sequência de pré - tratamento superficial dos fios foi seguida para os dois diâmetros 1,60 e 3,00 mm, em cada concentração e composição dos decapantes (tabela 3.3), temperaturas de 25, 40, 60 e 80°C e tempos de imersão de 5, 10, 15 e 20 minutos. A escolha das temperaturas e dos tempos de imersão foram baseados em dados industriais.

Tabela 3.3: Sequência do processo de pré - tratamento superficial dos fios

a)	banho de Gardoclean V 351 M (desengraxamento);
b)	lavagem com jato de água fria;
c)	secagem das amostras;
d)	medidas da rugosidade dos fios;
e)	banho decapante químico;
f)	lavagem com jato de água fria;
g)	secagem das amostras;
h)	medidas da rugosidade dos fios;
i)	pesagem das amostras;
j)	ativação da superfície no ácido decapante;
k)	lavagem e secagem das amostras;
l)	imersão no Dynacote;
m)	secagem das amostras;
n)	pesagem das amostras.

### 3.4 - Preparação das soluções

O desengraxante Gardoclean V 351 M foi preparado em uma concentração de 35g/L. Primeiramente adicionou-se 2/3 do volume de trabalho de água em um recipiente de vidro e aqueceu-o a uma temperatura de 50°C, em seguida espalhou-se o produto na



superfície agitando-o até dissolver. Após total dissolução, completou-se o volume com água, fez-se agitação e aquecimento até a temperatura de trabalho. O desengraxante foi operado com a temperatura variando entre 95°C e 98°C e com o tempo de imersão dos corpos de prova de dez minutos.

A composição das soluções ácidas decapantes, as concentrações e proporções usadas nos experimentos são apresentadas na tabela 3.4.

Tabela 3.4: Soluções ácidas decapantes

Composição dos ácidos	HNO <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub> / HCl	HNO <sub>3</sub> / HCl / HF	HNO <sub>3</sub> / HF
Concentrações (mL/L)	200	150 / 50	150 / 40 / 10	170 / 30
	100	75 / 25	75 / 20 / 5	85 / 15
	50	37,5 / 12,5	37,5 / 10 / 2,5	42,5 / 7,5

O lubrificante Dynacote foi preparado na concentração de 220g/L. Adicionou-se 2/3 do volume de trabalho de água em um recipiente de vidro, fez-se o aquecimento até a temperatura de aproximadamente 80°C, em seguida colocou-se o produto sobre a superfície agitando-o sempre até total dissolução. Após estar dissolvido, completou-se o volume com água e fez-se o aquecimento até a temperatura de trabalho que é em torno de 95°C. O tempo de imersão dos corpos de prova no lubrificante foi de cinco minutos.

### 3.5 - Medidas de rugosidade superficial

A rugosidade média aritmética ( $R_a$ ) dos fios foi medida pelo rugosímetro da marca Mitutoyo, modelo Surfest 211. Para garantir a não interferência dos riscos transversais devido ao manuseio e dos riscos longitudinais provenientes do processo de trefilação na

medida, observou-se os fios pelo estereomicroscópio da Micronal com um aumento de 40 vezes antes de medir a rugosidade.

Nos experimentos, foram utilizados três corpos de prova de cada diâmetro para se fazer as análises. Em cada amostra foram realizadas leituras de rugosidades superficiais dos fios em regiões diferentes, fazendo quatro rotações de 90°. Em um mesmo local da região, foram realizadas três medidas de rugosidade devido as variações apresentadas pelo rugosímetro e fez-se a média, esse procedimento foi realizado para os quatro locais medidos das quatro rotações de 90°. Em seguida foi calculada a média das médias das medidas de rugosidade das quatro rotações de uma amostra. A mesma sequência foi utilizada para os outros corpos de prova e em cada situação experimentada. Todo esse procedimento de medidas e cálculos foram realizados antes ( $R_0$ ) e após ( $R$ ) a decapagem química.

Os resultados obtidos nas medidas de rugosidade foram analisados através da utilização do método estatístico de planejamento fatorial com dois fatores, com a finalidade de estabelecer objetividade nas conclusões e garantir a confiabilidade e validade dos resultados [Montgomery, 1991]. Para este método foi estabelecido um erro aceitável de 5% em todas as análises realizadas, ou seja, para as diversas soluções ácidas decapantes e concentrações utilizadas, nos variados tempos de imersão e temperaturas de trabalho, nos dois diâmetros dos fios. Os valores numéricos de rugosidade utilizados nos cálculos para se fazer a análise estatística são apresentados nos anexos I e IV e os gráficos com a discussão dos resultados no capítulo 4.

### **3.6 - Medidas de ganho de massa**

Nas medidas de ganho de massa, os corpos de prova foram pesados individualmente em uma balança analítica após a decapagem química ( $M_0$ ) e após a imersão no Dynacote ( $M$ ). A diferença de massa foi calculada para cada amostra, fazendo-se em seguida a média

das três amostras e a normalização pela área. Estes valores normalizados foram analisados estatisticamente e utilizados graficamente.

Com a mesma finalidade, ou seja, de estabelecer objetividade nas conclusões e garantir a confiabilidade e validade dos resultados, os valores obtidos em ganho de massa de lubrificante normalizados pela área foram analisados estatisticamente através dos métodos de planejamento fatorial com dois fatores e da análise de variância fazendo-se a análise do modelo de efeitos fixos [Montgomery, 1991]. Em ambos os métodos foram estabelecidos erros de 10%, ou seja, com 90% de confiança pode-se definir se as variáveis têm ou não influência e também se sua interação afeta a variável de resposta. Os valores numéricos utilizados nos cálculos para se fazer a análise estatística são apresentados nos anexos II, III, V e VI.

### **3.7 - Ensaio potenciodinâmicos**

Os ensaios potenciodinâmicos foram realizados através do potenciostato da marca Princeton Applied Research (PAR) modelo 273A, ligado a um microcomputador com a utilização do software Softcor 352. Foram tomadas curvas de polarizações cíclicas potenciodinâmicas nas diversas soluções decapantes nas concentrações de 50, 100 e 200mL/L, tornando como referência o potencial de circuito aberto, escolheu-se uma faixa de potencial de até + 800mV sobre aquele valor e a varredura de potencial foi realizada a  $2\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ . Foi utilizada uma célula constituída de três eletrodos [Pletcher, Peter, et al, 1990], sendo a amostra de aço inoxidável o eletrodo de trabalho, o contra eletrodo de platina e como referência, o eletrodo de calomelano saturado.

## **Capítulo 4**

### **Resultados e Discussões**

Este capítulo apresenta os resultados da utilização das soluções ácidas decapantes no pré - tratamento superficial de fios de aço inoxidável ABNT 304L para o processo de trefilação. A primeira fase consistiu em fazer análise da rugosidade superficial dos fios e da ancoragem do lubrificante Dynacote através do uso de métodos estatísticos. A segunda fase consistiu em fazer polarizações com o fio nas diversas soluções ácidas. As análises e discussões dos resultados serão apresentados no decorrer deste capítulo.

#### **4.1 – Estudo do pré - tratamento superficial no processo de trefilação**

A primeira fase dos experimentos consistiu em medir a rugosidade superficial dos fios e a massa ancorada de lubrificante Dynacote na superfície das amostras após a decapagem química. Variou-se as concentrações das soluções ácidas, composições, tempos de imersão dos fios nas soluções e temperatura. Os dados foram analisados estatisticamente e são apresentados graficamente.

Na primeira etapa seguiu-se o processo de pré – tratamento conforme a sequência citada na tabela 3.3 nas soluções ácidas decapantes e concentrações conforme a tabela 3.4, nos tempos de imersão dos fios nas soluções de 5, 10, 15 e 20 minutos e à temperatura

ambiente. Os dados foram analisados em relação à rugosidade superficial e à massa de Dynacote ancorada na superfície dos fios.

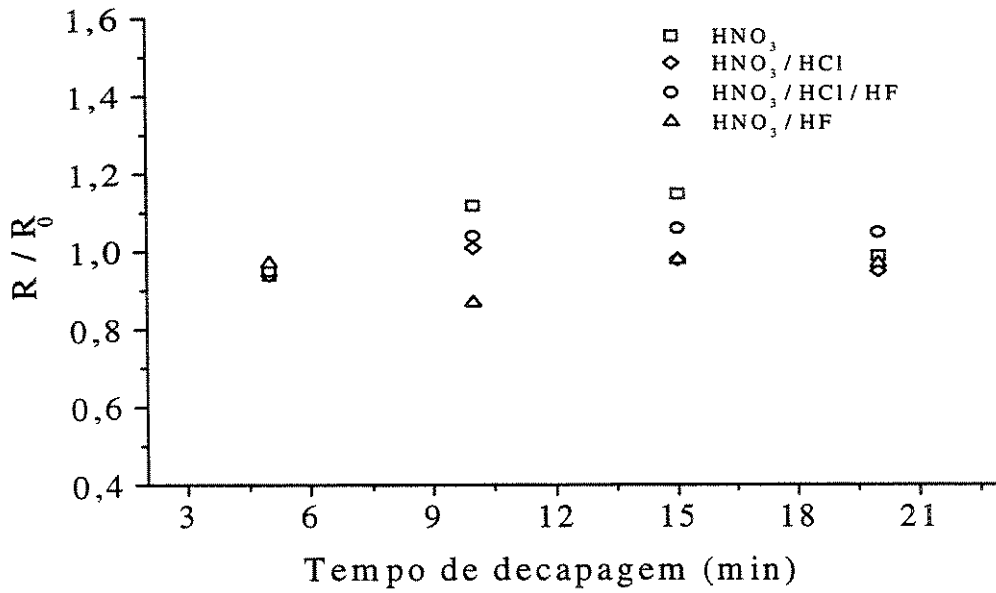
As figuras 4.1 a 4.3 apresentam gráficos com a rugosidade normalizada ( $R/R_0$ ) em função do tempo de imersão dos fios nas diversas soluções ácidas à temperatura ambiente, nas concentrações de 50, 100 e 200 mL/L.

Como comportamento comum, estatisticamente verifica-se que  $R/R_0$  oscila em torno de 1, independente da concentração do decapante e do tempo de imersão. Mesmo quando a solução é composta de halogênios, no caso  $Cl^-$  e  $F^-$  que provocam corrosão por pite em aço inoxidável, não se observa variações significativas quando os resultados são comparados com aqueles obtidos em soluções de ácido nítrico. As variações de rugosidade observadas nos gráficos das figuras 4.1 a 4.3 são decorrentes do erro experimental e estão dentro dos 5% do erro estatístico.

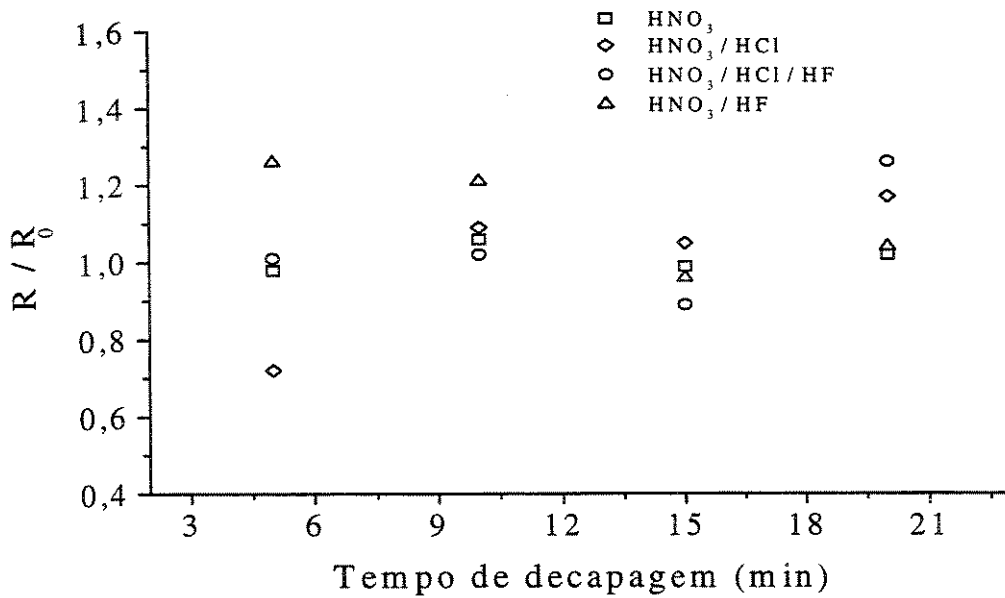
Ao fazer as leituras de rugosidade verificou-se que os fios de  $\varnothing 3,00\text{mm}$  apresentaram valores maiores que os fios de  $\varnothing 1,60\text{mm}$ . Os valores médios das medidas foram 1,03 e 0,35  $\mu\text{m}$  respectivamente.

Na indústria de trefilação considera-se que a etapa de decapagem ácida, além de remover os óxidos metálicos presentes na superfície, altera a rugosidade e facilita a ancoragem do sabão lubrificante. No entanto, através dos resultados iniciais obtidos, este mecanismo parece não se confirmar quando se trabalha à temperatura ambiente.

Quando se considera a quantidade do lubrificante carreador ancorada na superfície, após a decapagem à temperatura ambiente, verifica-se uma diferença no comportamento. As figuras 4.4 a 4.6 apresentam gráficos com o ganho de massa do Dynacote normalizada pela área das amostras em função do tempo de imersão nas soluções ácidas indicadas, com concentrações de 50, 100 e 200 mL/L respectivamente.



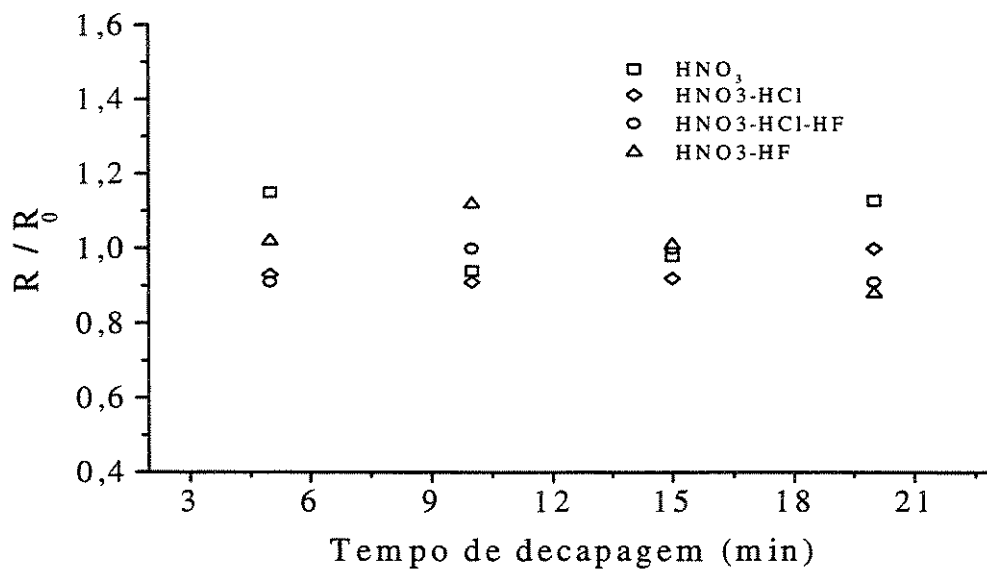
(a)



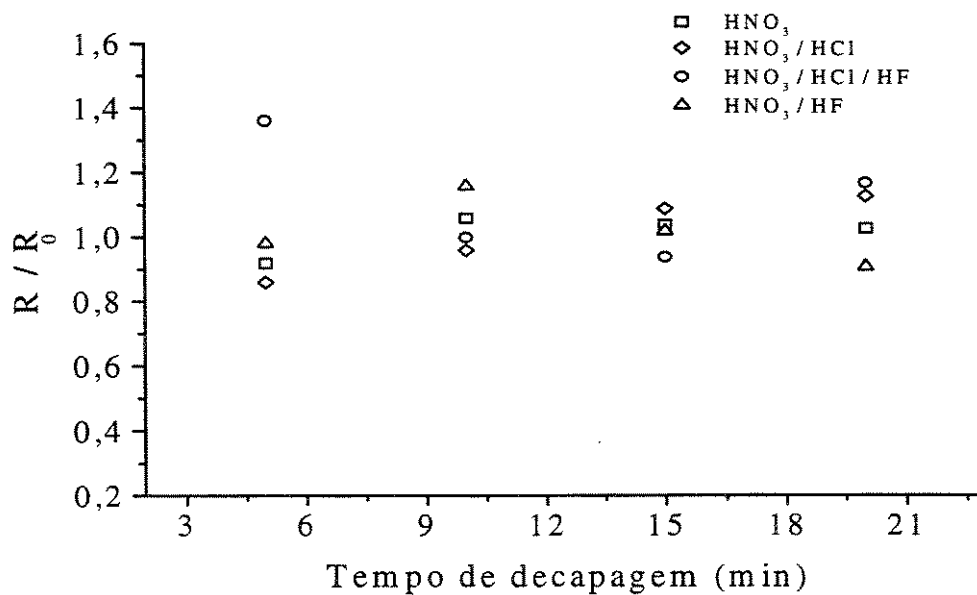
(b)

Figura 4.1 - Rugosidade normalizada em função do tempo de decapagem nas soluções ácidas indicadas com concentração de 50mL/L nos fios de diâmetros

(a) 1,60 e (b) 3,00mm.

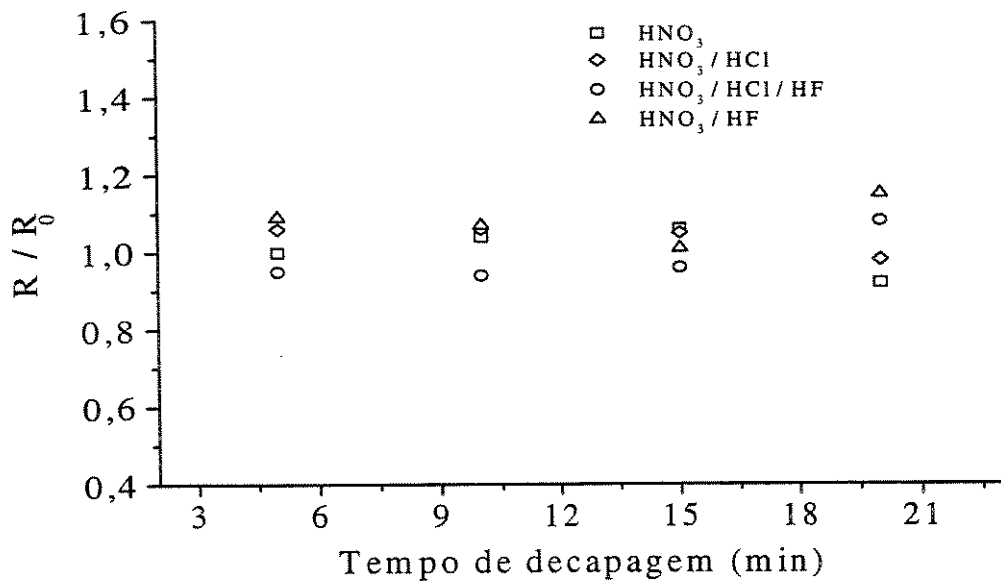


(a)

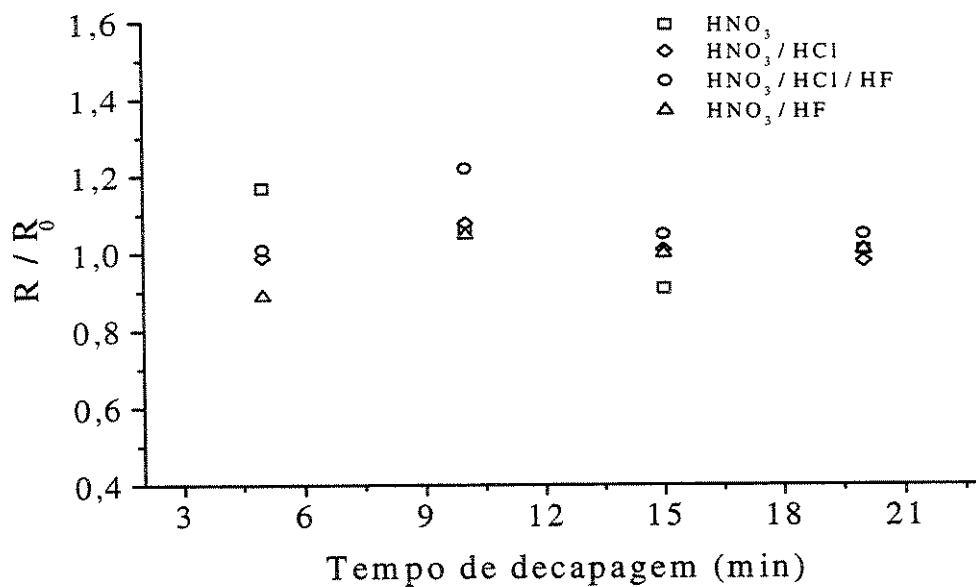


(b)

Figura 4.2: Rugosidade normalizada em função do tempo de decapagem nas soluções ácidas indicadas com concentração de 100mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00mm.



(a)

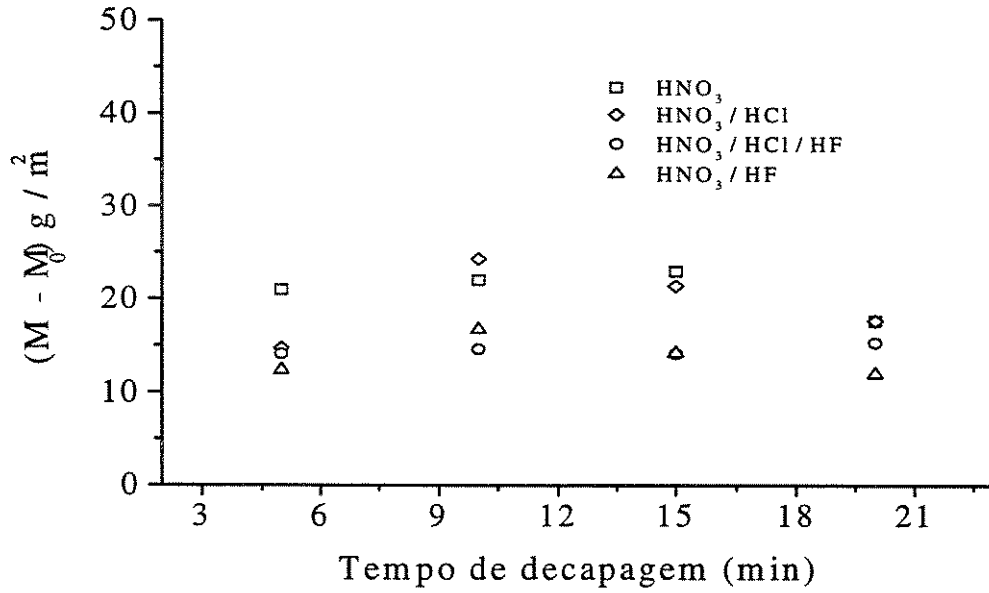


(b)

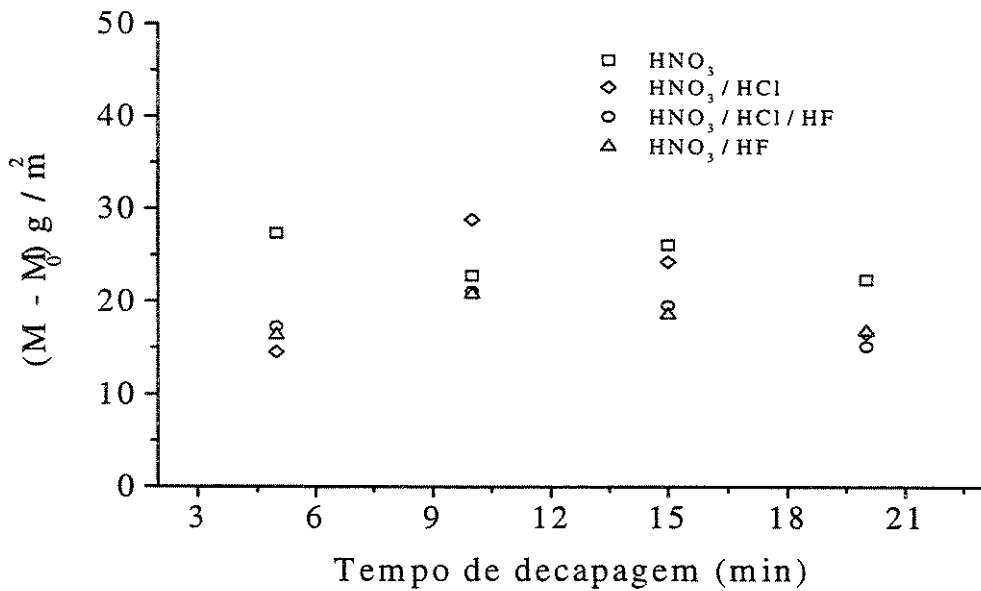
Figura 4.3: Rugosidade normalizada em função do tempo de decapagem nas soluções ácidas indicadas com concentração de 200mL/L nos fios de diâmetros

(a) 1,60 e (b) 3,00mm





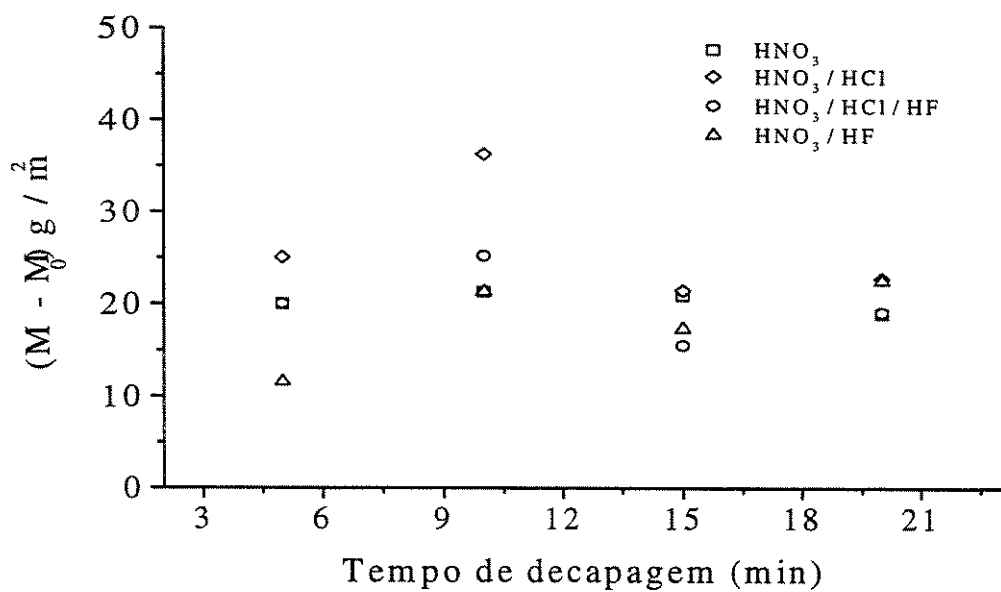
(a)



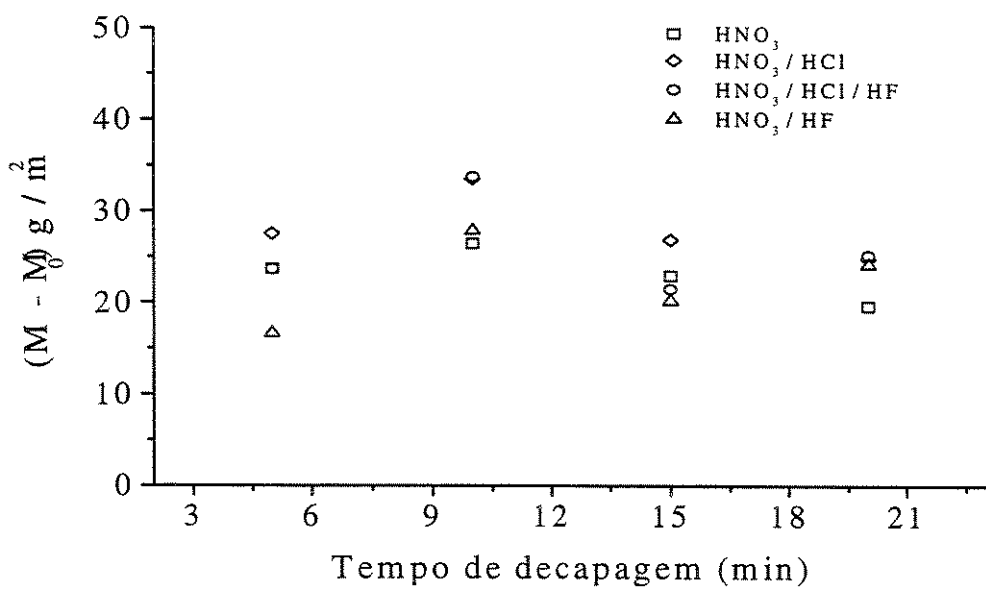
(b)

Figura 4.4: Ganho de massa normalizada pela área em função do tempo de decapagem nas soluções ácidas indicadas com concentração de 50mL/L nos fios de diâmetros

(a) 1,60 e (b) 3,00 mm

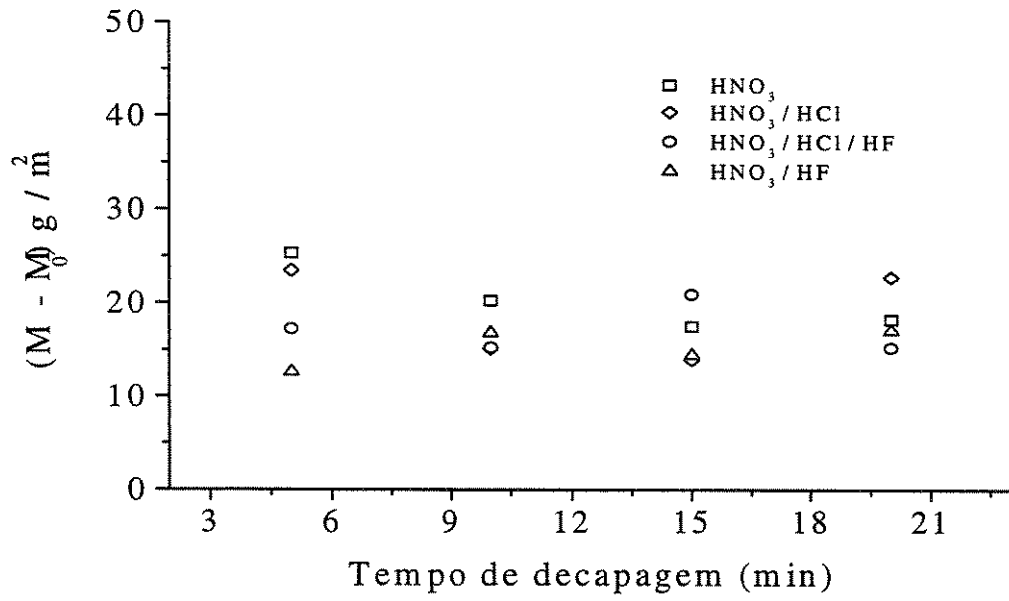


(a)

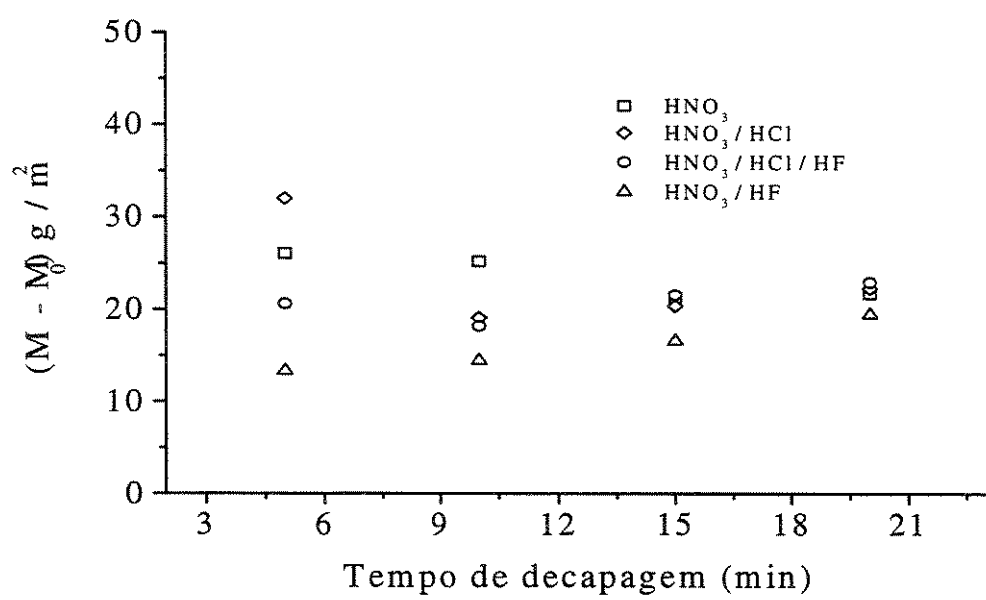


(b)

Figura 4.5: Ganho de massa normalizada pela área em função do tempo de decapagem nas soluções ácidas indicadas com concentração de 100mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm



(a)



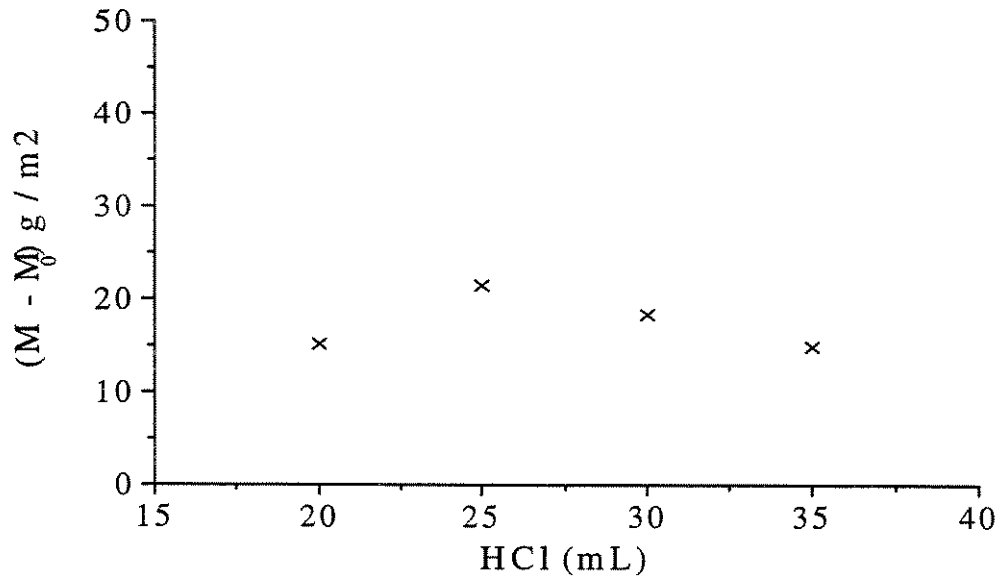
(b)

Figura 4.6: Ganho de massa normalizada pela área em função do tempo de decapagem nas soluções ácidas indicadas com concentração de 200mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm

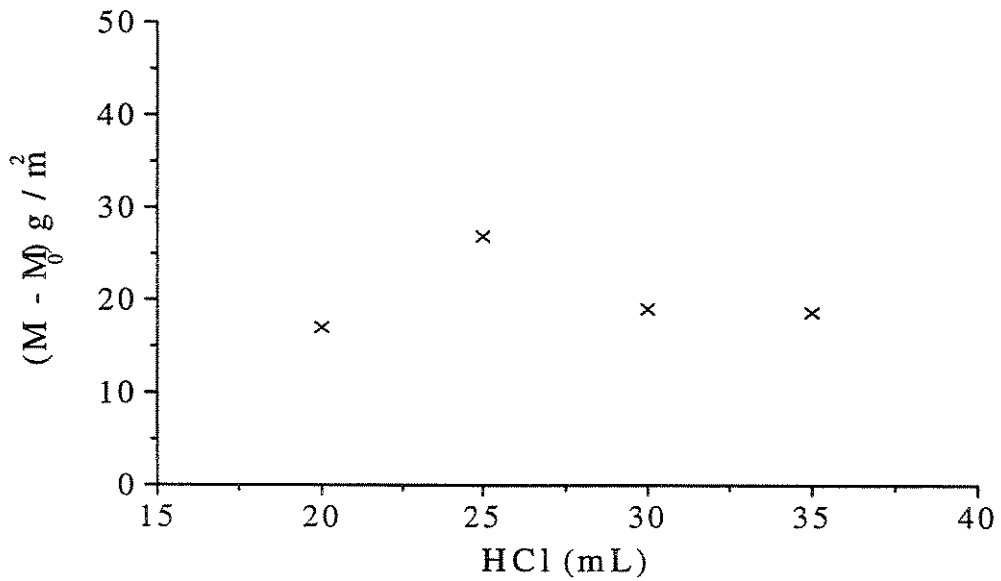
Analisando os gráficos das figuras 4.4 a 4.6, nota-se que os valores de ganho de massa do Dynacote oscilam em torno de  $20\text{g/m}^2$ . Estatisticamente, com 90% de confiabilidade, verifica-se que as soluções ácidas e os tempos de imersão dos fios nos decapantes químicos influenciam na ancoragem do lubrificante. Verifica-se também que a interação entre os fatores (tempo e soluções ácidas) afeta a variável de resposta quando se trabalha principalmente com a solução ácida  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$ , portanto este decapante é o que aparentemente faz uma remoção eficiente dos óxidos superficiais, fazendo com que a superfície fique mais ativada e a que mais afeta a variável de resposta nas concentrações utilizadas.

Com os resultados obtidos, partiu-se para a segunda etapa que consistiu em realizar ensaios variando-se as proporções dos ácidos nítrico e clorídrico na solução decapante  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$  na concentração de  $100\text{mL/L}$ , tempo de imersão dos fios nas soluções de 15 minutos e à temperatura ambiente. As proporções utilizadas foram: 20 mL  $\text{HCl}$  / 80 mL  $\text{HNO}_3$ ; 25 mL  $\text{HCl}$  / 75 mL  $\text{HNO}_3$ ; 30 mL  $\text{HCl}$  / 70 mL  $\text{HNO}_3$ ; 35 mL  $\text{HCl}$  / 65 mL  $\text{HNO}_3$ .

A figura 4.7 apresenta gráficos com a diferença do ganho de massa de Dynacote por área da amostra em função da proporção de ácido clorídrico na solução ácida  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$  na concentração de  $100\text{mL/L}$ , à temperatura ambiente e tempo de imersão nas soluções de 15 minutos para fios de aço inoxidável ABNT 304L nos diâmetros de 1,60 e 3,00 mm.



(a)



(b)

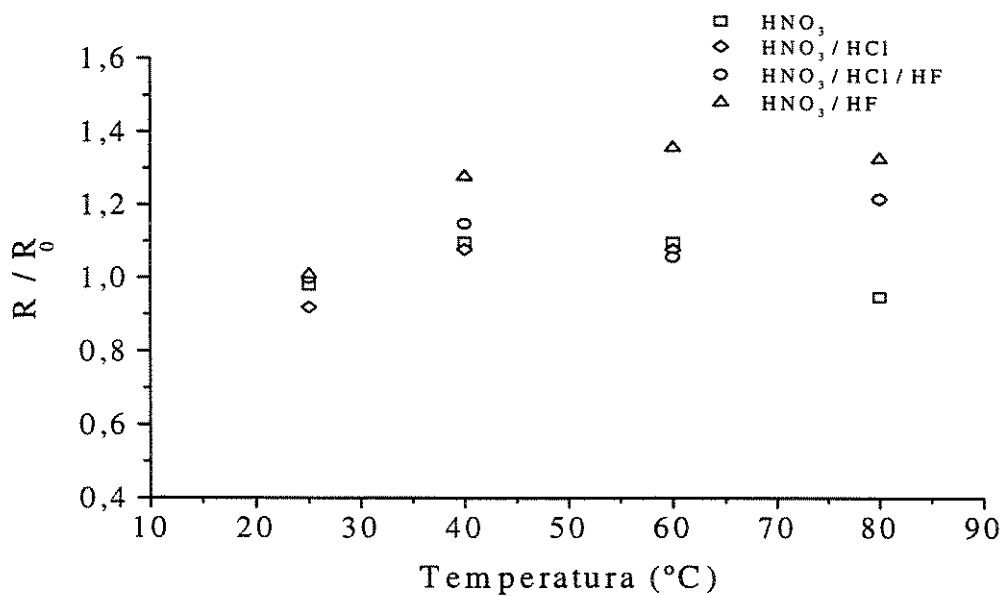
Figura 4.7: Ganho de massa do Dynacote por área em função da proporção de ácido clorídrico nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm

Na análise estatística, com apenas 10% de erro, pode-se concluir que a massa de lubrificante ancorada na superfície dos fios de aço inoxidável nos dois diâmetros é independente das proporções utilizadas de ácido clorídrico na concentração de 100mL/L no decapante HNO<sub>3</sub>/HCl, com o tempo de imersão de 15 minutos e temperatura de trabalho de 25°C, apresentando um ganho de massa de Dynacote oscilando em torno de 20g/m<sup>2</sup>. Portanto, esse resultado mostra que pode-se utilizar esta solução decapante com a menor quantidade de HCl.

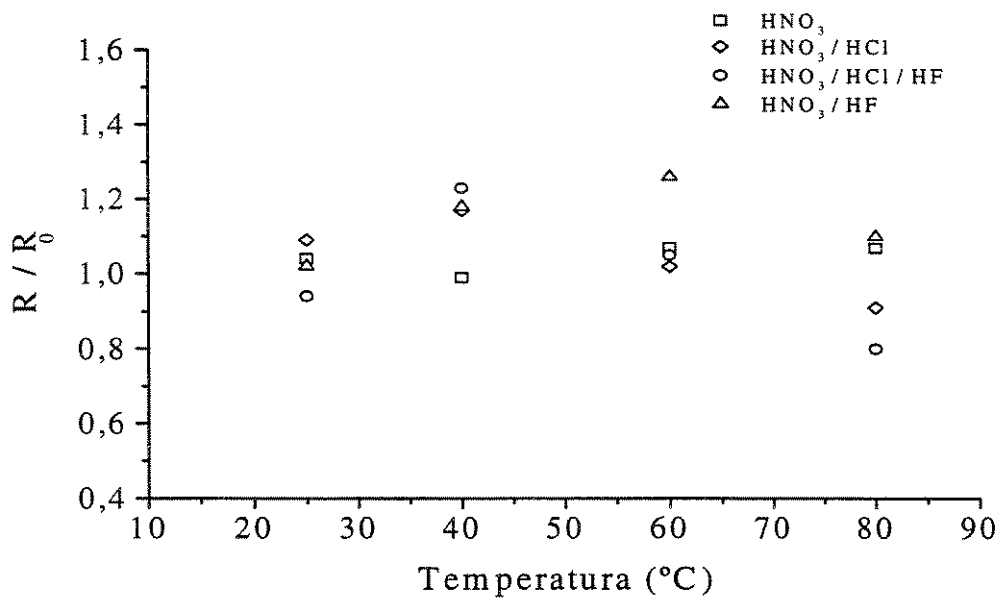
Com os resultados obtidos até o momento e com o objetivo de observar a influência da temperatura na decapagem química, partiu-se para a terceira etapa que consistiu em realizar experimentos utilizando o tempo de imersão nas soluções ácidas de 15 minutos para fios de diâmetros de 1,60 e 3,00 mm, temperaturas de 40, 60 e 80 °C nas diversas soluções decapantes (tabela 3.4.) e nas concentrações de 100 e 200 mL/L. Os dados foram analisados estatisticamente em relação a rugosidade superficial e a massa de Dynacote ancorada na superfície dos fios. Os resultados foram analisados estatisticamente e são apresentados graficamente incluindo àqueles obtidos à temperatura ambiente.

As figuras 4.8 e 4.9 mostram gráficos de rugosidade normalizada ( $R/R_0$ ) em função da temperatura de trabalho das soluções ácidas indicadas, nas concentrações de 100 e 200 mL/L respectivamente para fios de aço ABNT 304L nos diâmetros 1,60 e 3,00 mm.



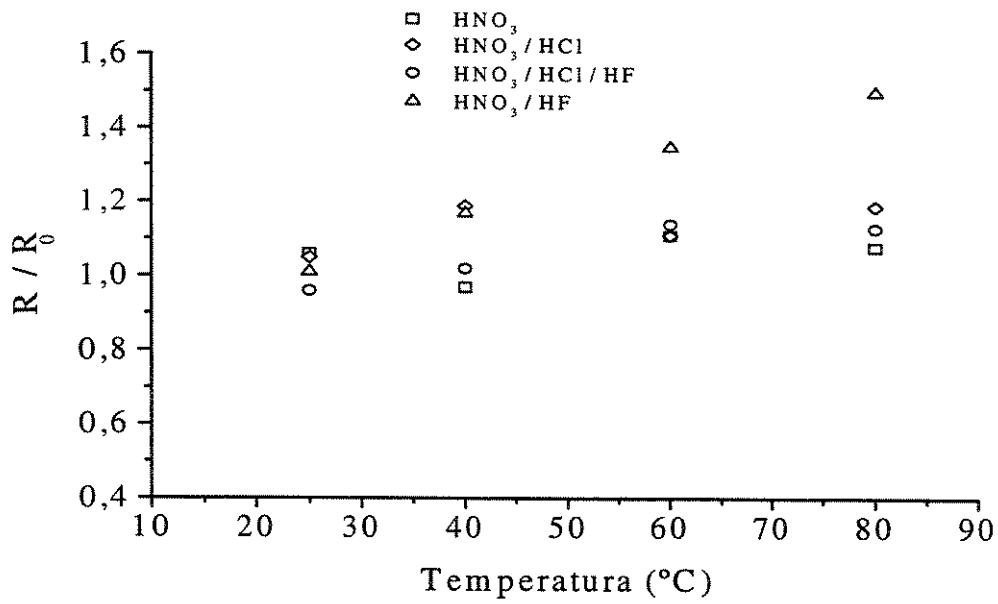


(a)

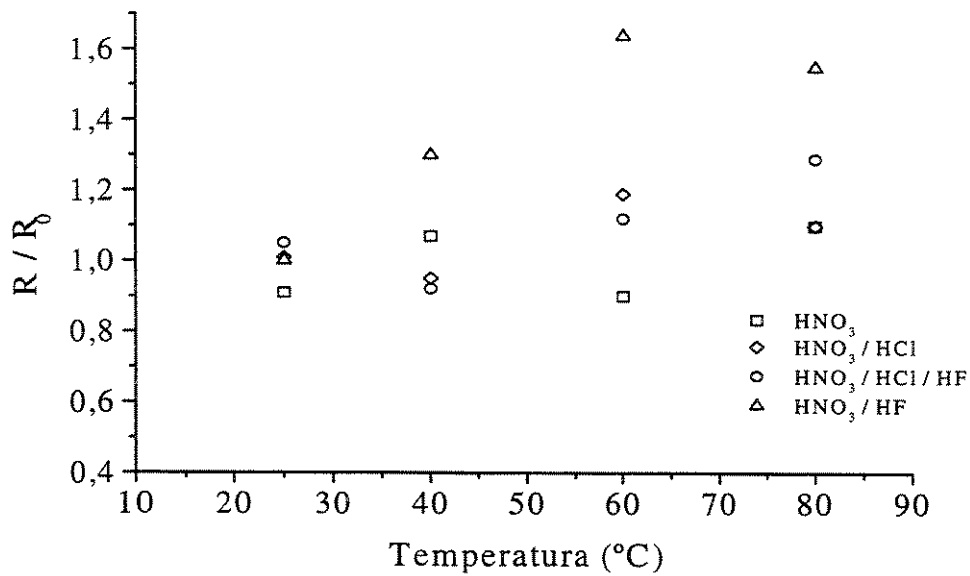


(b)

Figura 4.8: Rugosidade normalizada em função da temperatura das soluções ácidas indicadas com concentração de 100mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm



(a)



(b)

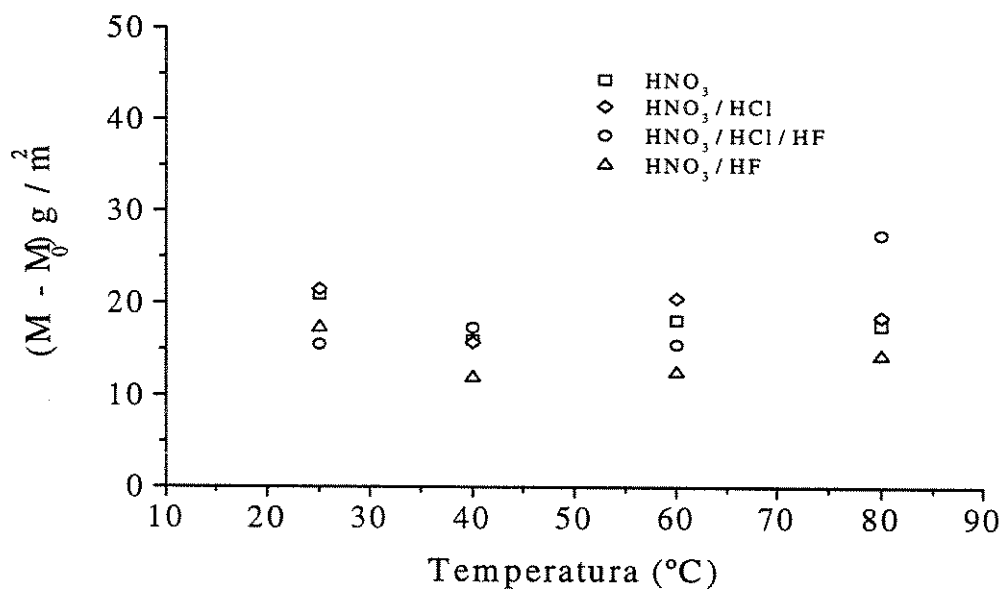
Figura 4.9: Rugosidade normalizada em função da temperatura das soluções ácidas indicadas com concentração de 200mL/L nos fios de diâmetros (a) 1,60 e (b) 3,00 mm



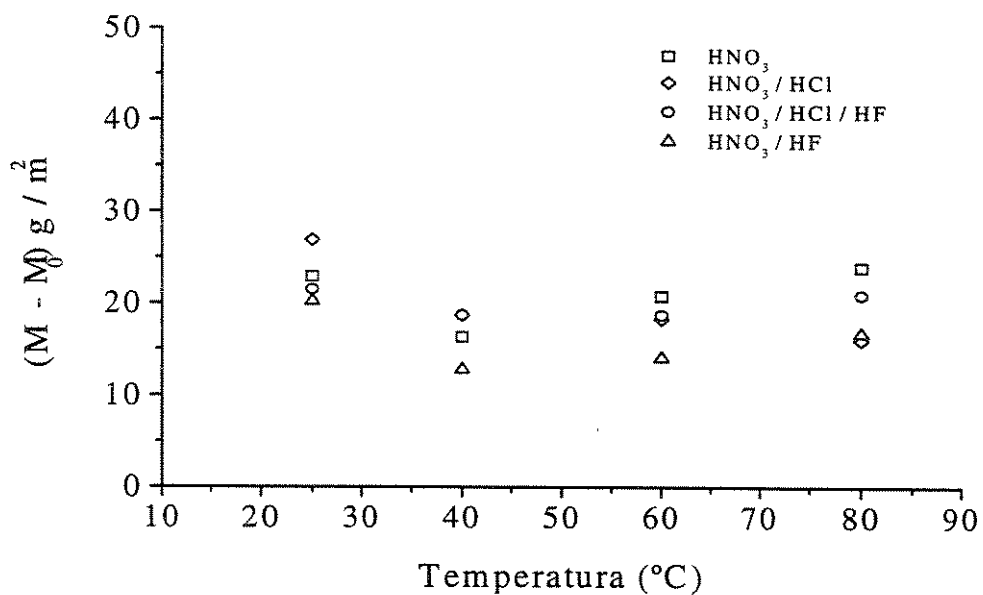
Da análise estatística dos dados apresentados nos gráficos das figuras 4.8 e 4.9, pode-se verificar com 95% de confiança que as variáveis soluções ácidas decapantes e temperatura de trabalho influenciam na variação da rugosidade superficial dos fios, exceto quando se utilizam soluções com concentração de 100mL/L no diâmetro de 3,00mm. As soluções que contêm ácido fluorídrico e as temperaturas de 60 e 80 °C são as que têm maior influência na rugosidade. Observa-se também que a interação entre os fatores não afeta a variável de resposta. Graficamente pode-se notar que existe um aumento da rugosidade na superfície dos fios, principalmente quando se faz a decapagem química com soluções que contêm ácido fluorídrico e este fato acentua-se quando se trabalha com concentrações maiores. Mas é preciso ressaltar que existe uma periculosidade muito grande quando se trabalha com aquecimento de ácido fluorídrico nas indústrias. A existência da alteração de rugosidade dos fios e a remoção dos óxidos metálicos presentes na superfície é notável. No entanto, esse fato não mostra maior ancoragem do sabão lubrificante, permanecendo o ganho de massa oscilando em torno de 20g/m<sup>2</sup>.

As figuras 4.10 e 4.11 apresentam gráficos com a diferença de massa de Dynacote antes e após a decapagem normalizada pela área das amostras em função da temperatura das soluções ácidas indicadas nas concentrações de 100 e 200 mL/L respectivamente nos diâmetros de 1,60 e 3,00 mm.

Ao analisar estatisticamente os resultados apresentados nos gráficos das figuras 4.10 e 4.11, verifica-se com 90% de confiança que as soluções ácidas decapantes afetam a variável de resposta (ganho de massa) nas concentrações utilizadas, exceto na concentração de 100mL/L quando se trabalha com os fios de diâmetro 3,00mm, e as soluções que têm maior influência são aquelas que possuem ácido fluorídrico em sua composição. Quanto as temperaturas, elas apenas afetam a variável de resposta nos fios de diâmetro 1,60mm e quando se utilizam soluções a 200mL/L.



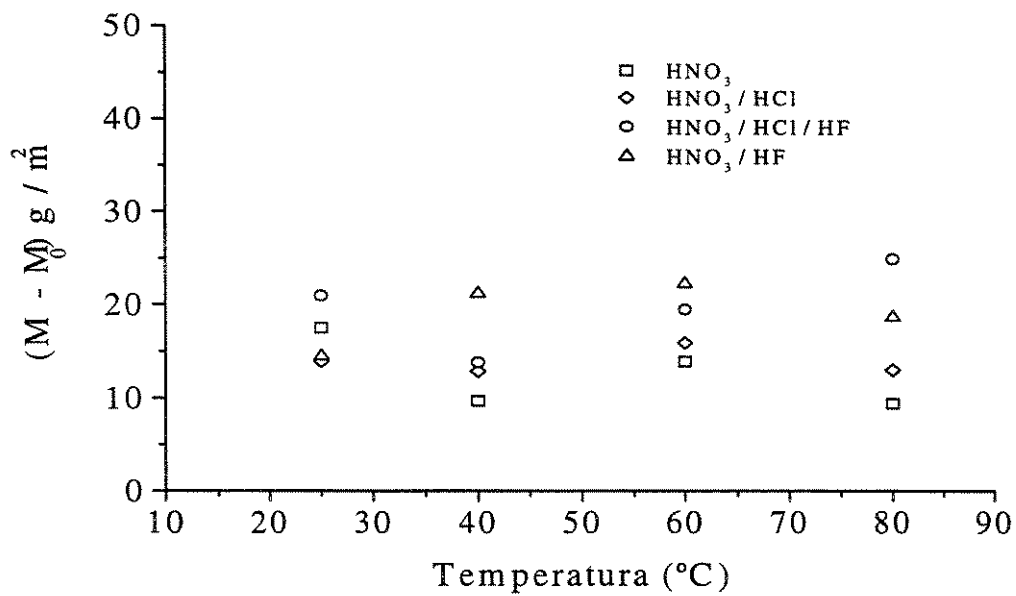
(a)



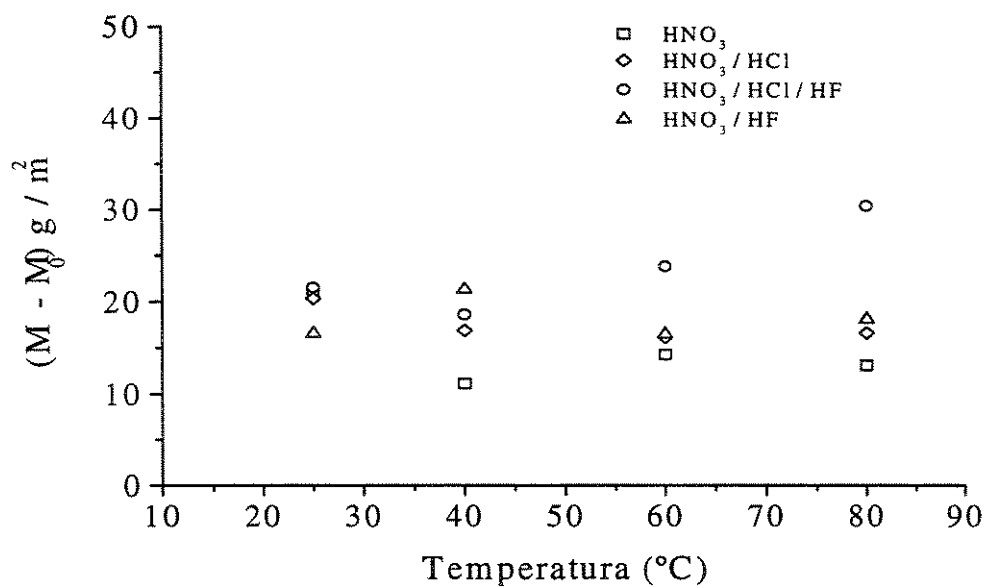
(b)

Figura 4.10: Ganho de massa normalizada pela área em função da temperatura das soluções ácidas indicadas com concentração de 100mL/L nos fios de diâmetros

(a) 1,60 e (b) 3,00 mm



(a)



(b)

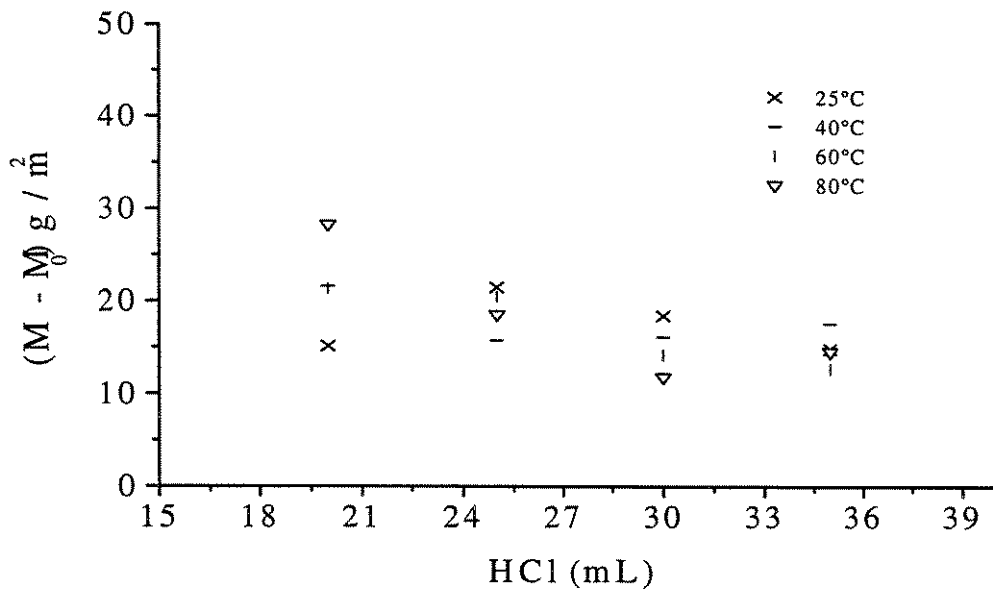
Figura 4.11: Ganho de massa normalizada pela área em função da temperatura das soluções ácidas indicadas com concentração de 200mL/L nos fios de diâmetros

(a) 1,60 e (b) 3,00 mm

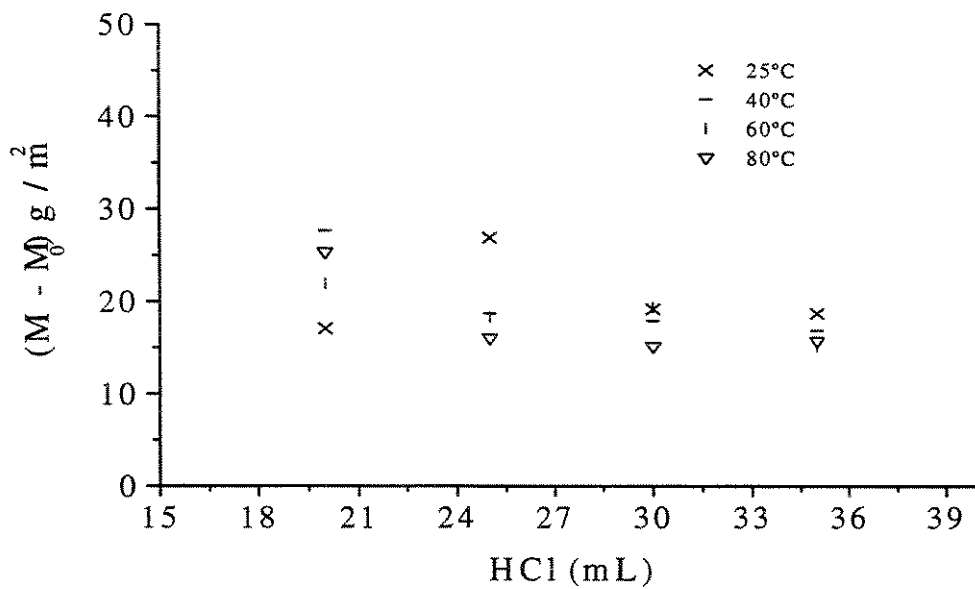
Seguindo os parâmetros de análises realizados na segunda etapa, partiu-se para a quarta etapa que consistiu em variar a proporção dos ácidos nítrico e clorídrico na solução  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$  na concentração de 100mL/L, com o tempo de imersão no decapante de 15 minutos, utilizando temperaturas de banho de 25, 40, 60 e 80 °C. As proporções utilizadas foram: 20 mL HCl / 80 mL  $\text{HNO}_3$ ; 25 mL HCl / 75 mL  $\text{HNO}_3$ ; 30 mL HCl / 70 mL  $\text{HNO}_3$ ; 35 mL HCl / 65 mL  $\text{HNO}_3$ .

A figura 4.12 apresenta gráficos com o ganho de massa do Dynacote normalizada pela área em função da proporção de ácido clorídrico na solução ácida  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$  na concentração de 100mL, tempo de imersão de 15 minutos, nas diversas temperaturas de decapagem para fios de aço ABNT 304L nos diâmetros de 1,60 e 3,00mm.

Analisando-se estatisticamente os resultados obtidos e apresentados nos gráficos da figura 4.12, verifica-se com 90% de confiança que apenas o fator variação da concentração de HCl influencia na ancoragem do lubrificante nos dois diâmetros dos fios e existe interação entre as variáveis apenas nos fios de diâmetro de 1,60mm. E a solução que contém uma concentração de 20mL de ácido clorídrico é a que mais afeta a variável de resposta. Industrialmente o resultado obtido é de grande interesse e importância devido a redução de custos, pois não é preciso teores elevados de ácido clorídrico e também não é necessário trabalhar com temperatura nas soluções decapantes.



(a)



(b)

Figura 4.12: Ganho de massa do Dynacote por área em função da proporção de ácido clorídrico em diversas temperaturas de decapagem nos fios de diâmetros

(a)1,60 e (b)3,00 mm

#### 4.2 – Curvas de Polarizações com os ácidos decapantes.

A segunda fase dos experimentos consistiu nos ensaios de polarização potenciodinâmica tomadas nas diversas soluções ácidas decapantes nas concentrações de 50, 100 e 200 mL/L.

Os ensaios de polarização potenciodinâmica foi estendido até 0,8 V mais positivo em relação ao potencial de circuito aberto, como podem ser vistos nas figuras de 4.13 a 4.17. Pode-se notar que as curvas de polarizações obtidas experimentalmente comportaram-se de forma diferente das expostas anteriormente (Figuras 2.7 e 2.8), pois apresentaram uma região de transpassivação, que significa a ruptura total do filme de passivação e conseqüentemente a corrosão do material.

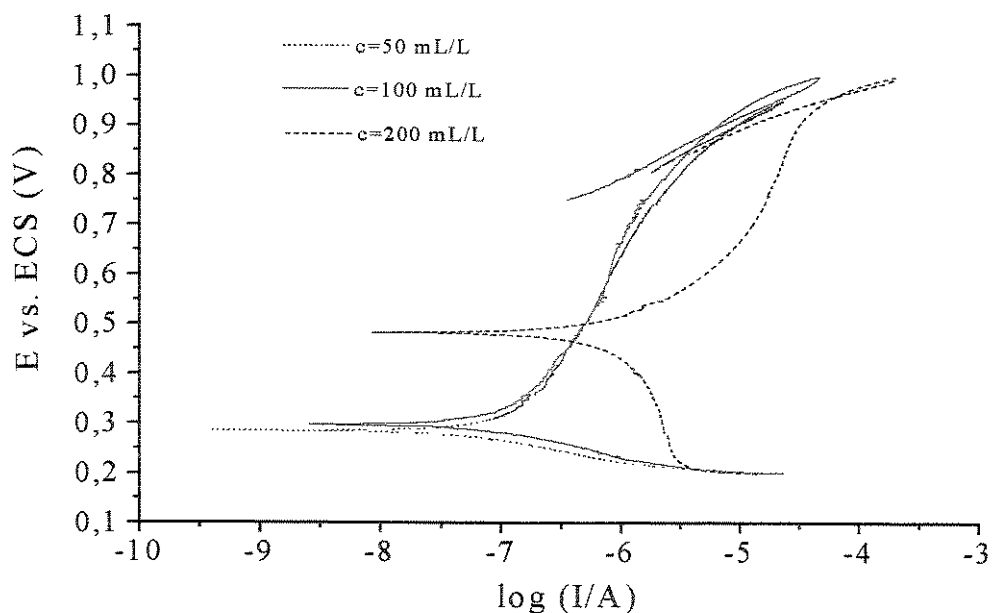


Figura 4.13: Curvas de polarizações da solução de HNO<sub>3</sub>

Analisando a figura 4.13, pode-se notar uma região de passivação que tem início e fim em potenciais próximos de 0,3 e 0,9 V respectivamente para as duas concentrações

menores de ácidos. Para a concentração de 200mL/L, verifica-se que o potencial de corrosão desloca-se para potenciais mais positivos e a região passiva inicia-se próximo de 0,5. A corrosão do aço inoxidável austenítico pelo  $\text{HNO}_3$  é intensificado pelo aumento da temperatura e/ou da concentração do ácido [Craig, Anderson, 1995]. Na varredura anódica, nota-se que não é possível estabelecer um valor fixo para corrente de passivação, mas ocorre a formação de um filme passivo na superfície metálica, o que é característico do ácido nítrico, pois é um ácido oxidante e conseqüentemente favorece a formação do filme superficial [Barbose, 1983], [Craig, Anderson, 1995].

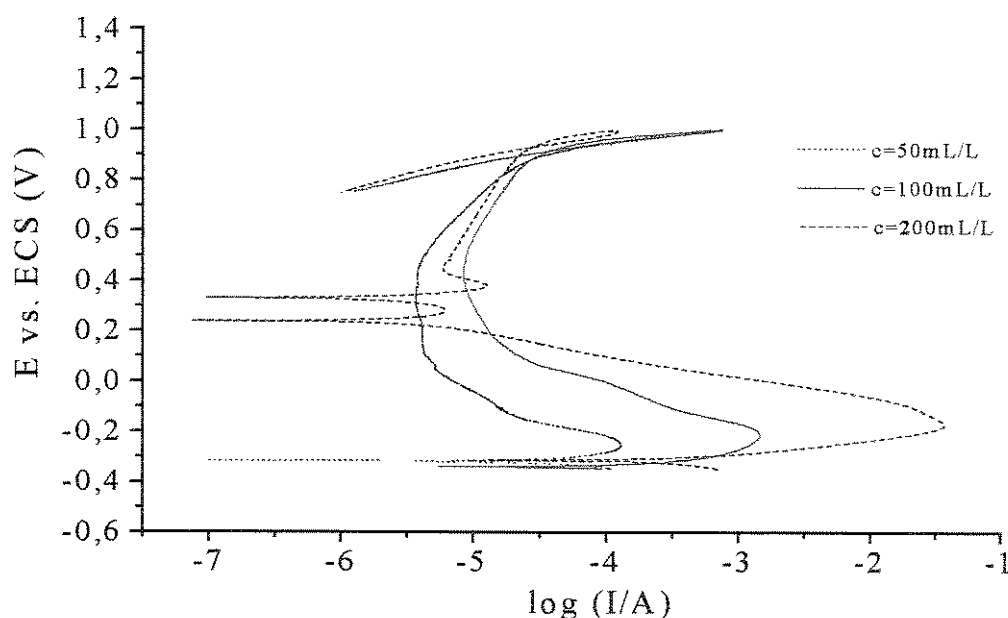


Figura 4.14: Curvas de polarizações da solução de  $\text{HNO}_3$  /  $\text{HCl}$

Ao analisar a figura 4.14, verifica-se que a formação do filme superficial é mais evidente com o aumento notório dos valores da corrente conforme o aumento da concentração da solução ácida decapante, sem no entanto, definir uma corrente de passivação. Com a adição do  $\text{HCl}$  na solução de  $\text{HNO}_3$ , o material torna-se mais ativo sofrendo corrosão nessa solução. Quando a concentração de  $\text{HCl}$  aumenta, a corrente onde se tem o início da região de passivação aumenta e o material apresenta uma região passiva menor. Entre os valores de potenciais de 0,0 V a 0,9 V tem-se a região onde o material

permanece protegido por um filme superficial, que é rompido a partir de 0,915 V, onde ocorre a transpassivação, ou seja, a quebra da camada de passivação.

Na figura 4.15, pode-se verificar que o efeito da adição de teores crescentes de  $\text{Cl}^-$  não influencia na posição dos voltamogramas. Os valores de corrente observados nas figuras 4.14 e 4.15 não mudam, porém tendem a ser até uma ordem de grandeza maior quando comparados com os da figura 4.13, onde se utilizou apenas  $\text{HNO}_3$ . Ou seja, a presença de  $\text{Cl}^-$  torna o filme passivante menos protetivo.

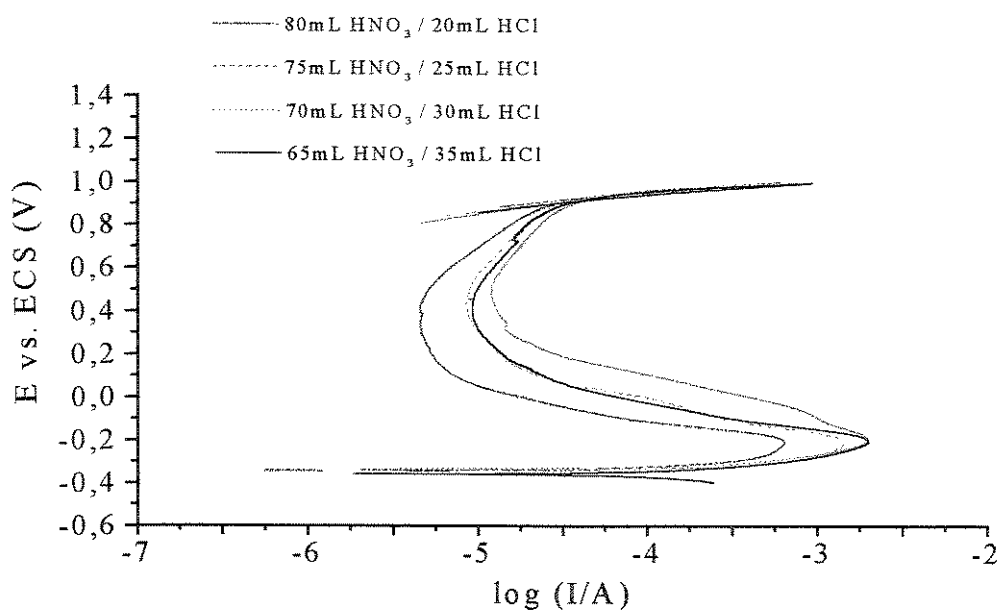


Figura 4.15: Curvas de polarizações da solução de  $\text{HNO}_3$  /  $\text{HCl}$  com proporções variadas



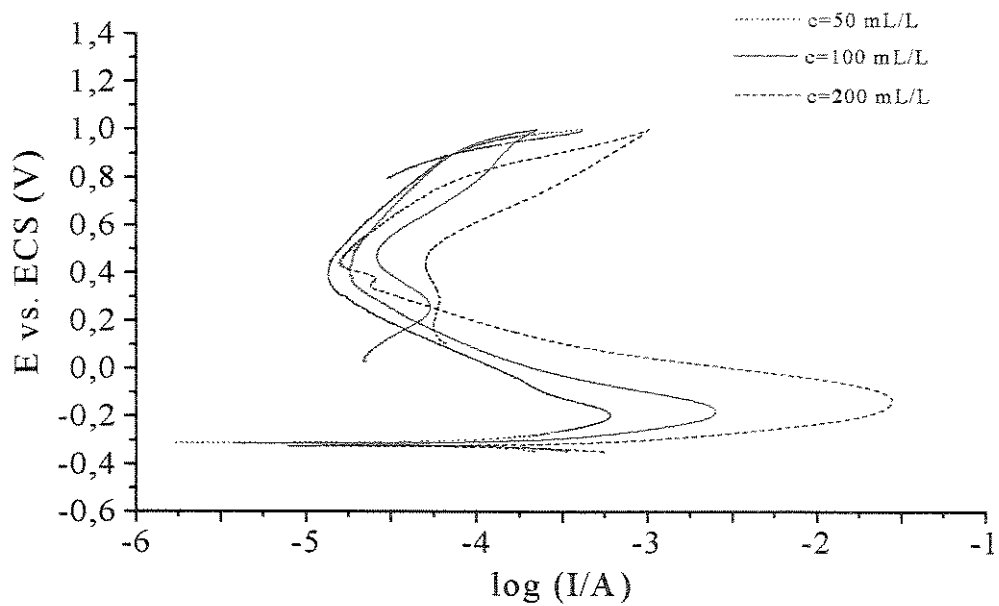


Figura 4.16: Curvas de polarizações da solução de  $\text{HNO}_3$  /  $\text{HCl}$  /  $\text{HF}$

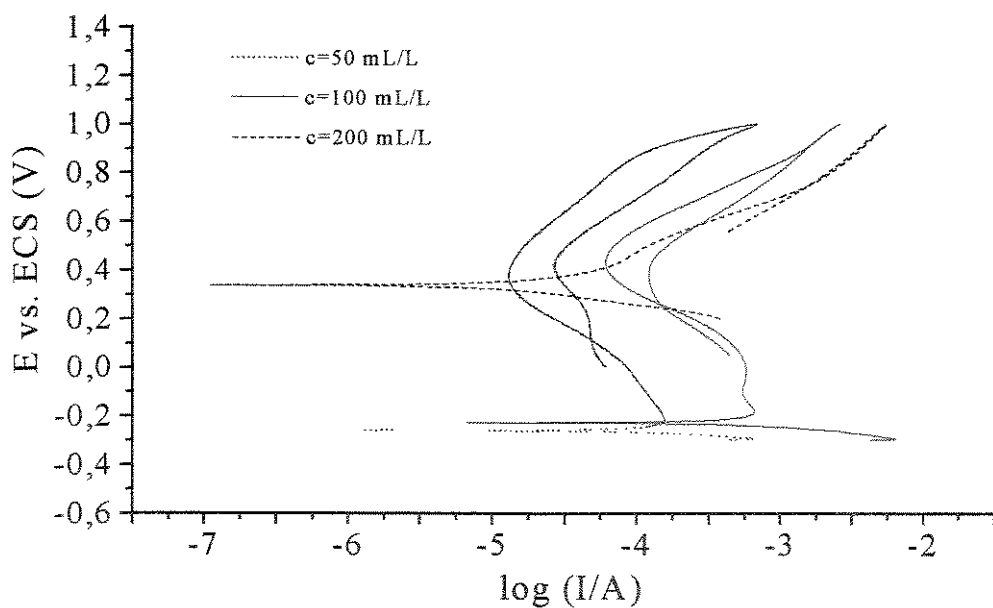


Figura 4.17: Curvas de polarizações da solução de  $\text{HNO}_3$  /  $\text{HF}$

Na figura 4.16, com o aumento da concentração das soluções ácidas, o material apresenta uma região passiva menor, o que o torna mais difícil de se passivar na presença de HF, e os valores das correntes são maiores.

Na figura 4.17, as curvas de polarizações nas concentrações de 50 e 100 mL/L apresentam comportamentos semelhantes com potenciais de corrosão em  $-0,2$  V e uma região de passivação menor, como na figura 4.16. Na concentração de 200mL/L, a curva tem um comportamento onde não se percebe qualquer evidência de passivação. Além do potencial de corrosão deslocar-se para valores mais positivos, a alta concentração de F<sup>-</sup> impede a passivação, e o material sofre corrosão ativa.

Em soluções contendo ácido fluorídrico, o metal se corrói mais rapidamente, pois nota-se uma região de passivação menor. Mas devido aos riscos oferecidos pela sua manipulação, soluções contendo ácido clorídrico também podem ser utilizadas. A figura 4.15 mostra um comportamento semelhante das curvas de polarizações, podendo-se dizer que o comportamento da solução HNO<sub>3</sub>/HCl nas diferentes proporções de HCl são muito próximos. Com isso, pode-se trabalhar com esta solução na menor proporção de HCl porque a sua agressividade é efetiva.

A conclusão acima coincide com a obtida na fase experimental das análises de rugosidade e ganho de massa, onde obteve-se como resposta trabalhar com a solução decapante HNO<sub>3</sub> / HCl, na concentração de 100mL/L, à temperatura ambiente e com o tempo de imersão de 15 minutos, apresentando a ancoragem do lubrificante em torno de 20g/m<sup>2</sup> de fio de aço inoxidável ABNT 304L.

## Capítulo 5

### Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

#### 5.1 – Conclusões

A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados, pode-se concluir que:

1 – Nas concentrações de 50, 100 e 200 mL/L das diversas soluções ácidas decapantes, nos quatro tempos de imersão e à temperatura ambiente, foi verificado estatisticamente com 95% de confiança que a rugosidade superficial dos fios não sofreu alteração significativa após a decapagem química. Mas quanto a quantidade de lubrificante ancorada na superfície notou-se uma diferença de comportamento. Com 90% de confiabilidade verificou-se que a interação entre os fatores tempo e soluções afetam a variável de resposta ganho de massa, principalmente quando se trabalha com a solução ácida  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$ .

2 – Com a variação das proporções de ácido clorídrico na solução de  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$ , na concentração de 100mL/L, utilizado à temperatura ambiente e tempo de imersão de 15 minutos, pôde-se verificar com a análise estatística, com apenas 10% de erro que a massa do lubrificante carreador aderida nos dos fios de aço inoxidável nos dois diâmetros é independente das proporções de HCl utilizadas, apresentando valores de ganho de massa de Dynacote oscilando em torno de  $20\text{g/m}^2$ .

3 – Com a utilização das temperaturas no processo de decapagem nas diversas soluções ácidas, nas concentrações de 100 e 200 mL/L, tempo de imersão de 15 minutos para os diâmetros de 1,60 e 3,00 mm, pôde-se verificar estatisticamente com 95% de confiabilidade e graficamente que houve aumento na rugosidade superficial dos fios, principalmente ao serem utilizadas soluções contendo ácido fluorídrico. No entanto, esse fato não mostrou maior ancoragem de lubrificante, permanecendo o ganho de massa em torno de  $20\text{g/m}^2$ .

4 – Com a variação das proporções de ácido clorídrico e nítrico na solução de  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$ , na concentração de 100mL/L, com o tempo de imersão de 15 minutos, utilizando as diversas temperaturas de decapagem, verificou-se com a análise estatística que a massa de lubrificante ancorada na superfície metálica nos dois diâmetros de fios é influenciada apenas pelo fator variação da concentração de HCl utilizada, sendo a solução contendo 20mL de ácido clorídrico a que mais afeta a variável de resposta. Mas o ganho de massa continuou oscilando em torno de  $20\text{g/m}^2$ .

5 – As curvas de polarizações potenciodinâmicas tomadas nas diversas soluções ácidas decapantes nas concentrações de 50, 100 e 200 mL/L não apresentaram uma região de passivação totalmente definida, nem apresentaram um valor exato de corrente de passivação.

6 – Nas soluções decapantes contendo ácido fluorídrico o metal se corrói mais rapidamente, mas devido aos riscos oferecidos pela sua manipulação, soluções contendo ácido clorídrico podem ser utilizadas, pois apresentaram-se bastante efetivas.

7 – Variações das proporções de ácido clorídrico na solução decapante  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$  não modificaram o comportamento do fio nas curvas de polarizações. Portanto, houve a confirmação dos resultados experimentais obtidos nos ensaios de rugosidade e de ancoragem de lubrificante, ou seja, a utilização da solução  $\text{HNO}_3/\text{HCl}$ , na proporção 4:1 e na concentração de 100mL/L, à temperatura ambiente e com o tempo de imersão de 15 minutos .

## **5.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros**

1 – Estudo da trefilação de fios de aço inoxidável ABNT 304L utilizando-se o processo de pré-tratamento superficial com a aplicação da solução decapante de ácido nítrico e clorídrico nas condições obtidas neste trabalho.

2 – Estabelecer uma técnica para determinar a espessura do lubrificante ancorada na superfície metálica e relacioná-la com a qualidade superficial do material trefilado.

3 – Estudo do pré – tratamento superficial de fios metálicos de outros materiais para o processo de trefilação.

## Referências Bibliográficas

- [ABM, 1971] “Corrosão e Tratamentos de Superficiais do Metais”. Edição da Associação Brasileira de Metais – ABM, 1971.
- [ADM, 1998], Di Martino E. Giusti Ind. Metalúrgicas Ltda. “Certificado de Qualidade”. 1998.
- [Alkire, et all, 1989] Alkire, M.J., Huey, S.R., Kajuch, J. “Wiredrawing Lubricant: cradle to grave control by a wire producer”. Wire Journal International, 1989.
- [Avitzur,1983] Avitzur, B. “Handbook of Metal Forming”. 1ª ed. N.Y. Jonh Willey and Sons. 1983.
- [Barbose, 1983] Barbose, M.A. “Se os aços inoxidáveis são autopassiváveis, valerá a pena passivá-los em ácido nítrico?”. Revista de Corrosão e Proteção de Materiais, vol.2, N.5, 1983.
- [Bonzel, 1935] Bonzel, M. “Steel Wire – Manufacture and Properties”. Eng.Book Shop, 1935.
- [Bresciane, Button, et all, 1991] Bresciane Filho, E., Zavaglia, C. A. C., Button, S.T., Gomes, E., Nery, F.A.C. “Conformação Plástica dos Metais”. Editora da Unicamp, 4ª edição, 1991.
- [Button, 1990] Button, S.T. “Estudo da Lubrificação hidrodinâmica na extrusão hidrostática”. Tese de doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1990.
- [Cheng, 1992] Cheng, H.S. “Friction, Lubrication and Wear Technology”. ASM Handbook, 1992 apud [Martinez, 1998] Martinez, G.A.S. “Comportamento da Lubrificação no tribo-sistema de Trefilação a Altas Velocidades”. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998.

- [Chiaverini,1977] Chiaverini, V. "Aços e Ferros Fundidos". Associação Brasileira de Metais, 4ª edição, 1977.
- [Cockcroft, 1967] Cockcroft, M.G. "Lubrication in Metal Working". Lubrication and Lubricants, 1967 apud [Martinez, 1998] Martinez, G.A.S. "Comportamento da Lubrificação no tribo-sistema de Trefilação a Altas Velocidades". Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998.
- [Cosselett, 1971] Cosselett, R.G. "Macmillan Engineering Evaluations". Chapter 11: Wire Manufacture, Edited by John D.Beadle, 1971.
- [Cotell, et all, 1994] Cotell, C.M., Sprague, J.A., Smidt, F.A.Jr. "Surface Engineering". ASM Handbook, vol.5, 1994.
- [Craig e Anderson, 1995] Craig, B.D., Anderson, D.S. "Handbook of Corrosion Data". ASM International, Materials Data Series, 2ªed., 1995.
- [Dove, 1965] Dove, A. B. "Steel Wire Handbook". The Wire Association, Inc, Vol 1, 1965.
- [Gentil, 1987] Gentil, V. "Corrosão". Ed.Guanabara, 2ªed., 1987.
- [Lange, 1985] Lange, K. "Handbook of Metal Forming". Society of Manufacturing Engineers, 1985.
- [M.M.,1995] Metalurgia & Materiais. "Aço Inoxidável: um segmento em expansão". São Paulo, Janeiro 1995.
- [Magnabosco, 1996] Magnabosco, R. "Estudo do Comportamento Eletroquímico do Aço AISI M2 em NaOH utilizando Técnicas de Polarização Potenciodinâmica e Potenciostática". Dissertação de Mestrado – Engenharia Metalúrgica, Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.
- [Martinez, 1993] Martinez, G.A.S. "Otimização da Velocidade de Trefilação do Aço Inoxidável Austenítico ABNT 304". Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1993.
- [Martinez, 1998] Martinez, G.A.S. "Comportamento da Lubrificação no tribo-sistema de Trefilação a Altas Velocidades". Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1998.
- [Mei e Silva, 1988] Silva, A.L.C., Mei P.R. "Aços e Ligas Especiais". Eletrometal S. A. Metais Especiais, 2ª edição, 1988.

- [Montgomery, 1991] Montgomery, D. C., "Design and Analysis of Experiments". 3<sup>a</sup> ed. Jonh Willey and Sons, 1991.
- [Padilha e Guedes, 1994] Padilha, A. F., Guedes, L.C. "Aços Inoxidáveis Austeníticos – Microestrutura e Propriedades". Hemus Editora Ltda, 1994.
- [Pires,1977] Pires, O.A.L. "Lubrificação". Ed. McGraw-Hill, 1977.
- [Pletcher, Peter, et all, 1990] Pletcher, D., Peter, L. M., et all. Southampton Electrochemistry Group, "Instrumental Methods in Electrochemistry", Ellis Horwood Limited, 1990.
- [Rosa, 1997] Rosa, S. "Estudo da Resistência à corrosão da Liga Ti-6Al-7Nb para Aplicação e Implantes Ortopédicos". Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997.
- [S.S.F, 1959] Stainless Steel Fabrication. "Cap.VIII – Surface Treating Operations". Allegheny Ludlum Steel Corporation, Pittsburgh, 1959.
- [S.S.H.,1959] "Stainless Steel Handbook". Allegheny Ludlum Steel Corporation, Pittsburgh, 1959.
- [Schultz, 1974] Schultz, D. E. "Stainless Steel Wire – Its Production and Uses". Wire Journal, November 1974.
- [SpA, 1991], Tecnovo SpA. "Lubricants for Steel Wire Drawing". Wire Industry, v.58, n.695, November 1991.
- [Wilson, 1979] Wilson, W.R.D. "Friction na Lubrication in Bulk Metal – Forming Processes". Journal of Applied Metalworking, 1979.
- [Wistreich, 1958] Wistreich, J.G. "The Fundamentals of Wire Drawing". Metallurgical Review, 1958.
- [Wood, 1982] Wood, W.G. coord. "Surface Cleaning, Finishing and Coating". Metals Handbook, v.5, 9<sup>a</sup>ed, 1982.
- [Wright, 1997], Wright, R.N. "Physical conditions in the lubricant Layer". Wire Journal International, 1997.
- [Zabala, 1981] Zabala, A. I. "Aceros Inoxidables y Aceros Resistentes al Calor – Propiedades, Transformaciones y Normas". Editorial Limusa S.A., México, 1981.



## Anexo I

Neste anexo são apresentadas as tabelas com os valores médios das leituras de rugosidades superficiais dos fios de aço inoxidável ABNT 304L nos diâmetros de 1,60mm e 3,00mm, antes ( $R_0$ ) e após ( $R$ ) a decapagem química nas diversas soluções ácidas nas concentrações de 50, 100 e 200 mL/L, com tempos de imersão de 5, 10, 15 e 20 minutos e temperatura de 25 °C. As tabelas também apresentam os valores de rugosidade normalizada pela área ( $R/R_0$ ).

Tabela I.A – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 50mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de rugosidade - c=50mL/L - 1,60mm												
Ácidos												
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
5	0,1	0,13	1,30	0,4	0,4	1,00	0,49	0,46	0,94	0,35	0,32	0,91
	0,13	0,11	0,85	0,54	0,48	0,89	0,49	0,44	0,90	0,4	0,38	0,95
	0,19	0,13	0,68	0,51	0,47	0,92	0,37	0,37	1,00	0,41	0,43	1,05
<b>Soma</b>	0,42	0,37	<b>2,83</b>	1,45	1,35	<b>2,81</b>	1,35	1,27	<b>2,84</b>	1,16	1,13	<b>2,91</b>
<b>Média</b>			0,94			0,94			0,95			0,97
10	0,13	0,14	1,08	0,46	0,51	1,11	0,31	0,38	1,23	0,38	0,33	0,87
	0,16	0,17	1,06	0,42	0,4	0,95	0,35	0,35	1,00	0,37	0,32	0,86
	0,13	0,16	1,23	0,33	0,32	0,97	0,36	0,32	0,89	0,38	0,33	0,87
<b>Soma</b>	0,42	0,47	<b>3,37</b>	1,21	1,23	<b>3,03</b>	1,02	1,05	<b>3,11</b>	1,13	0,98	<b>2,60</b>
<b>Média</b>			1,12			1,01			1,04			0,87
15	0,47	0,55	1,17	0,36	0,3	0,83	0,3	0,38	1,27	0,5	0,44	0,88
	0,49	0,52	1,06	0,48	0,51	1,06	0,51	0,4	0,78	0,47	0,46	0,98
	0,45	0,55	1,22	0,52	0,54	1,04	0,31	0,35	1,13	0,39	0,42	1,08
<b>Soma</b>	1,41	1,62	<b>3,45</b>	1,36	1,35	<b>2,93</b>	1,12	1,13	<b>3,18</b>	1,36	1,32	<b>2,94</b>
<b>Média</b>			1,15			0,98			1,06			0,98
20	0,39	0,44	1,13	0,46	0,33	0,72	0,37	0,36	0,97	0,4	0,38	0,95
	0,5	0,49	0,98	0,51	0,46	0,90	0,44	0,49	1,11	0,41	0,41	1,00
	0,39	0,34	0,87	0,39	0,48	1,23	0,38	0,4	1,05	0,39	0,38	0,97
<b>Soma</b>	1,28	1,27	<b>2,98</b>	1,36	1,27	<b>2,85</b>	1,19	1,25	<b>3,14</b>	1,2	1,17	<b>2,92</b>
<b>Média</b>			0,99			0,95			1,05			0,97
<b>Total (soma)</b>	3,53	3,73	<b>12,6</b>	5,38	5,2	<b>11,63</b>	4,68	4,7	<b>12,27</b>	4,85	4,6	<b>11,37</b>

Tabela I.B – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 50mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de rugosidade - c=50mL/L - 3,00mm												
Ácidos												
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
5	1,05	0,87	0,83	1,14	0,61	0,54	0,76	0,67	0,88	0,65	0,99	1,52
	1	1,1	1,10	0,79	0,63	0,80	0,96	1,21	1,26	0,91	0,88	0,97
	1,12	1,12	1,00	0,83	0,69	0,83	1,32	1,19	0,90	0,61	0,78	1,28
<b>Soma</b>	<b>3,17</b>	<b>3,09</b>	<b>2,93</b>	<b>2,76</b>	<b>1,93</b>	<b>2,16</b>	<b>3,04</b>	<b>3,07</b>	<b>3,04</b>	<b>2,17</b>	<b>2,65</b>	<b>3,77</b>
<b>Média</b>			<b>0,98</b>			<b>0,72</b>			<b>1,01</b>			<b>1,26</b>
10	1,2	1,22	1,02	0,9	0,71	0,79	0,93	0,77	0,83	0,71	1,17	1,65
	1,02	1,19	1,17	0,69	0,98	1,42	0,96	1,01	1,05	1,15	1,17	1,02
	0,93	0,92	0,99	1,16	1,23	1,06	0,89	1,05	1,18	1,02	0,97	0,95
<b>Soma</b>	<b>3,15</b>	<b>3,33</b>	<b>3,17</b>	<b>2,75</b>	<b>2,92</b>	<b>3,27</b>	<b>2,78</b>	<b>2,83</b>	<b>3,06</b>	<b>2,88</b>	<b>3,31</b>	<b>3,62</b>
<b>Média</b>			<b>1,06</b>			<b>1,09</b>			<b>1,02</b>			<b>1,21</b>
15	0,97	1,04	1,07	1,14	1,23	1,08	1,1	0,96	0,87	0,86	0,85	0,99
	0,88	0,87	0,99	0,83	0,77	0,93	0,94	0,86	0,91	1,01	0,82	0,81
	0,88	0,81	0,92	1,14	1,32	1,16	1,18	1,04	0,88	1,38	1,47	1,07
<b>Soma</b>	<b>2,73</b>	<b>2,72</b>	<b>2,98</b>	<b>3,11</b>	<b>3,32</b>	<b>3,16</b>	<b>3,22</b>	<b>2,86</b>	<b>2,67</b>	<b>3,25</b>	<b>3,14</b>	<b>2,87</b>
<b>Média</b>			<b>0,99</b>			<b>1,05</b>			<b>0,89</b>			<b>0,96</b>
20	1,35	1,55	1,15	0,84	1,06	1,26	0,99	0,84	0,85	0,86	1,1	1,28
	1,08	1,4	1,30	0,73	1	1,37	0,54	1	1,85	1,06	0,85	0,80
	1,47	0,91	0,62	0,88	0,78	0,89	1,16	1,24	1,07	0,9	0,94	1,04
<b>Soma</b>	<b>3,9</b>	<b>3,86</b>	<b>3,06</b>	<b>2,45</b>	<b>2,84</b>	<b>3,52</b>	<b>2,69</b>	<b>3,08</b>	<b>3,77</b>	<b>2,82</b>	<b>2,89</b>	<b>3,13</b>
<b>Média</b>			<b>1,02</b>			<b>1,17</b>			<b>1,26</b>			<b>1,04</b>
<b>Total (soma)</b>	<b>12,95</b>	<b>13</b>	<b>12,15</b>	<b>11,1</b>	<b>11</b>	<b>12,12</b>	<b>11,7</b>	<b>11,8</b>	<b>12,54</b>	<b>11,1</b>	<b>12</b>	<b>13,38</b>

Tabela I.C – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 100mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de rugosidade - c=100mL/L - 1,60mm												
Ácidos												
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
5	0,12	0,15	1,25	0,47	0,46	0,98	0,42	0,38	0,90	0,43	0,47	1,09
	0,11	0,14	1,27	0,51	0,43	0,84	0,51	0,42	0,82	0,42	0,44	1,05
	0,15	0,14	0,93	0,49	0,48	0,98	0,42	0,42	1,00	0,55	0,51	0,93
<b>Soma</b>	0,38	0,43	<b>3,46</b>	1,47	1,37	<b>2,80</b>	1,35	1,22	<b>2,73</b>	1,4	1,42	<b>3,07</b>
<b>Média</b>			1,15			0,93			0,91			1,02
10	0,29	0,27	0,93	0,37	0,33	0,89	0,43	0,44	1,02	0,39	0,37	0,95
	0,33	0,34	1,03	0,41	0,34	0,83	0,43	0,48	1,12	0,39	0,4	1,03
	0,26	0,22	0,85	0,52	0,52	1,00	0,55	0,48	0,87	0,3	0,42	1,40
<b>Soma</b>	0,88	0,83	<b>2,81</b>	1,3	1,19	<b>2,72</b>	1,41	1,4	<b>3,01</b>	1,08	1,19	<b>3,37</b>
<b>Média</b>			0,94			0,91			1,00			1,12
15	0,48	0,44	0,92	0,52	0,46	0,88	0,44	0,41	0,93	0,53	0,54	1,02
	0,51	0,52	1,02	0,54	0,48	0,89	0,51	0,51	1,00	0,47	0,52	1,11
	0,43	0,43	1,00	0,48	0,47	0,98	0,43	0,46	1,07	0,42	0,38	0,90
<b>Soma</b>	1,42	1,39	<b>2,94</b>	1,54	1,41	<b>2,75</b>	1,38	1,38	<b>3,00</b>	1,42	1,44	<b>3,03</b>
<b>Média</b>			0,98			0,92			1,00			1,01
20	0,46	0,55	1,20	0,36	0,39	1,08	0,43	0,35	0,81	0,53	0,43	0,81
	0,51	0,57	1,12	0,37	0,36	0,97	0,43	0,45	1,05	0,51	0,49	0,96
	0,48	0,51	1,06	0,39	0,37	0,95	0,46	0,4	0,87	0,44	0,38	0,86
<b>Soma</b>	1,45	1,63	<b>3,38</b>	1,12	1,12	<b>3,01</b>	1,32	1,2	<b>2,73</b>	1,48	1,3	<b>2,64</b>
<b>Média</b>			1,13			1,00			0,91			0,88
<b>Total (soma)</b>	4,13	4,28	<b>12,58</b>	5,43	5,09	<b>11,28</b>	5,46	5,2	<b>11,47</b>	5,38	5,35	<b>12,11</b>

Tabela I.D – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 100mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de rugosidade - c=100mL/L - 3,00mm												
Ácidos												
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
5	1,06	1,05	0,99	1,37	1,26	0,92	0,39	0,76	1,95	1,44	1,5	1,04
	1	0,87	0,87	0,76	0,59	0,78	0,55	0,59	1,07	1,08	1,04	0,96
	0,84	0,76	0,90	0,96	0,86	0,90	1,12	1,17	1,04	1,19	1,12	0,94
<b>Soma</b>	<b>2,9</b>	<b>2,68</b>	<b>2,77</b>	<b>3,09</b>	<b>2,71</b>	<b>2,59</b>	<b>2,06</b>	<b>2,52</b>	<b>4,07</b>	<b>3,71</b>	<b>3,66</b>	<b>2,95</b>
<b>Média</b>			0,92			0,86			1,36			0,98
10	0,62	0,77	1,24	0,79	0,86	1,09	1,37	1,16	0,85	1,02	0,81	0,79
	1,03	0,88	0,85	0,73	0,69	0,95	1,13	1,08	0,96	0,88	1	1,14
	0,47	0,51	1,09	0,96	0,81	0,84	0,81	0,98	1,21	0,6	0,93	1,55
<b>Soma</b>	<b>2,12</b>	<b>2,16</b>	<b>3,18</b>	<b>2,48</b>	<b>2,36</b>	<b>2,88</b>	<b>3,31</b>	<b>3,22</b>	<b>3,01</b>	<b>2,5</b>	<b>2,74</b>	<b>3,48</b>
<b>Média</b>			1,06			0,96			1,00			1,16
15	0,98	0,96	0,98	1,21	1,1	0,91	0,65	0,51	0,78	1,39	1,19	0,86
	0,57	0,7	1,23	0,75	0,69	0,92	0,69	0,73	1,06	1	1,16	1,16
	0,9	0,83	0,92	0,67	0,97	1,45	1,21	1,2	0,99	0,81	0,85	1,05
<b>Soma</b>	<b>2,45</b>	<b>2,49</b>	<b>3,13</b>	<b>2,63</b>	<b>2,76</b>	<b>3,28</b>	<b>2,55</b>	<b>2,44</b>	<b>2,83</b>	<b>3,2</b>	<b>3,2</b>	<b>3,07</b>
<b>Média</b>			1,04			1,09			0,94			1,02
20	0,9	0,78	0,87	0,81	0,66	0,81	1,14	1,34	1,18	1,49	1,34	0,90
	1,01	1,16	1,15	0,7	0,97	1,39	0,91	0,88	0,97	1,07	1,14	1,07
	1,11	1,2	1,08	0,72	0,85	1,18	0,72	0,98	1,36	0,96	0,74	0,77
<b>Soma</b>	<b>3,02</b>	<b>3,14</b>	<b>3,10</b>	<b>2,23</b>	<b>2,48</b>	<b>3,38</b>	<b>2,77</b>	<b>3,2</b>	<b>3,50</b>	<b>3,52</b>	<b>3,22</b>	<b>2,74</b>
<b>Média</b>			1,03			1,13			1,17			0,91
<b>Total (soma)</b>	<b>10,49</b>	<b>10,47</b>	<b>12,17</b>	<b>10,4</b>	<b>10,3</b>	<b>12,13</b>	<b>10,7</b>	<b>11,4</b>	<b>13,42</b>	<b>12,9</b>	<b>12,8</b>	<b>12,23</b>

Tabela I.E – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 200mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de rugosidade - c=200mL/L - 1,60mm												
Ácidos												
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após (R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
5	0,39	0,41	1,05	0,54	0,58	1,07	0,49	0,45	0,92	0,51	0,56	1,10
	0,56	0,54	0,96	0,39	0,41	1,05	0,47	0,45	0,96	0,47	0,52	1,11
	0,37	0,36	0,97	0,47	0,5	1,06	0,51	0,5	0,98	0,52	0,55	1,06
<b>Soma</b>	1,32	1,31	<b>2,99</b>	1,4	1,49	<b>3,19</b>	1,47	1,4	<b>2,86</b>	1,5	1,63	<b>3,26</b>
<b>Média</b>			1,00			1,06			0,95			1,09
10	0,33	0,3	0,91	0,35	0,39	1,11	0,35	0,37	1,06	0,51	0,56	1,10
	0,34	0,34	1,00	0,35	0,33	0,94	0,36	0,34	0,94	0,53	0,46	0,87
	0,14	0,17	1,21	0,52	0,59	1,13	0,36	0,3	0,83	0,52	0,64	1,23
<b>Soma</b>	0,81	0,81	<b>3,12</b>	1,22	1,31	<b>3,19</b>	1,07	1,01	<b>2,83</b>	1,56	1,66	<b>3,20</b>
<b>Média</b>			1,04			1,06			0,94			1,07
15	0,48	0,5	1,04	0,46	0,47	1,02	0,44	0,43	0,98	0,49	0,42	0,86
	0,46	0,58	1,26	0,37	0,41	1,11	0,39	0,39	1,00	0,46	0,55	1,20
	0,5	0,44	0,88	0,41	0,42	1,02	0,48	0,44	0,92	0,52	0,51	0,98
<b>Soma</b>	1,44	1,52	<b>3,18</b>	1,24	1,3	<b>3,15</b>	1,31	1,26	<b>2,89</b>	1,47	1,48	<b>3,03</b>
<b>Média</b>			1,06			1,05			0,96			1,01
20	0,48	0,42	0,88	0,39	0,4	1,03	0,44	0,45	1,02	0,47	0,47	1,00
	0,5	0,49	0,98	0,51	0,48	0,94	0,42	0,5	1,19	0,46	0,56	1,22
	0,37	0,34	0,92	0,5	0,49	0,98	0,48	0,5	1,04	0,4	0,49	1,23
<b>Soma</b>	1,35	1,25	<b>2,77</b>	1,4	1,37	<b>2,95</b>	1,34	1,45	<b>3,25</b>	1,33	1,52	<b>3,44</b>
<b>Média</b>			0,92			0,98			1,08			1,15
<b>Total (soma)</b>	4,92	4,89	<b>12,07</b>	5,26	5,47	<b>12,48</b>	5,19	5,12	<b>11,84</b>	5,86	6,29	<b>12,93</b>

Tabela I.F – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 200mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de rugosidade - c=200mL/L - 3,00mm												
Tempo (min)	Ácidos											
	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
5	1,18	1,33	1,13	1,24	1,13	0,91	0,83	0,75	0,90	1,54	1,51	0,98
	1,5	1,63	1,09	0,89	0,99	1,11	0,87	0,92	1,06	1,23	1,13	0,92
	0,96	1,23	1,28	1,07	1,01	0,94	0,84	0,91	1,08	1,19	0,91	0,76
<b>Soma</b>	<b>3,64</b>	<b>4,19</b>	<b>3,50</b>	<b>3,2</b>	<b>3,13</b>	<b>2,97</b>	<b>2,54</b>	<b>2,58</b>	<b>3,04</b>	<b>3,96</b>	<b>3,55</b>	<b>2,66</b>
<b>Média</b>			1,17			0,99			1,01			0,89
10	1,01	1,2	1,19	1,01	1,18	1,17	0,94	1,02	1,09	0,99	1,15	1,16
	1,1	1,23	1,12	0,9	1,05	1,17	0,98	1,28	1,31	1,23	1,34	1,09
	1,22	1,06	0,87	0,95	0,85	0,89	0,8	1,02	1,28	1,41	1,28	0,91
<b>Soma</b>	<b>3,33</b>	<b>3,49</b>	<b>3,18</b>	<b>2,86</b>	<b>3,08</b>	<b>3,23</b>	<b>2,72</b>	<b>3,32</b>	<b>3,67</b>	<b>3,63</b>	<b>3,77</b>	<b>3,16</b>
<b>Média</b>			1,06			1,08			1,22			1,05
15	1,44	1,38	0,96	0,98	1,12	1,14	1,16	1,07	0,92	1,54	1,62	1,05
	1,29	1,15	0,89	0,89	0,88	0,99	0,98	0,98	1,00	1,47	1,38	0,94
	1,22	1,09	0,89	0,99	0,89	0,90	0,74	0,9	1,22	1,04	1,04	1,00
<b>Soma</b>	<b>3,95</b>	<b>3,62</b>	<b>2,74</b>	<b>2,86</b>	<b>2,89</b>	<b>3,03</b>	<b>2,88</b>	<b>2,95</b>	<b>3,14</b>	<b>4,05</b>	<b>4,04</b>	<b>2,99</b>
<b>Média</b>			0,91			1,01			1,05			1,00
20	0,8	0,84	1,05	0,9	0,79	0,88	0,99	1,05	1,06	1,17	1,14	0,97
	0,91	0,96	1,05	0,9	0,97	1,08	0,72	0,79	1,10	1,08	1,25	1,16
	1,26	1,18	0,94	0,85	0,83	0,98	0,87	0,87	1,00	1,63	1,48	0,91
<b>Soma</b>	<b>2,97</b>	<b>2,98</b>	<b>3,04</b>	<b>2,65</b>	<b>2,59</b>	<b>2,93</b>	<b>2,58</b>	<b>2,71</b>	<b>3,16</b>	<b>3,88</b>	<b>3,87</b>	<b>3,04</b>
<b>Média</b>			1,01			0,98			1,05			1,01
<b>Total (soma)</b>	<b>13,89</b>	<b>14,28</b>	<b>12,45</b>	<b>11,6</b>	<b>11,7</b>	<b>12,16</b>	<b>10,7</b>	<b>11,6</b>	<b>13,01</b>	<b>15,5</b>	<b>15,2</b>	<b>11,85</b>

## **Anexo II**

Neste anexo são apresentadas as tabelas com os pesos das amostras de fios de aço inoxidável ABNT 304L nos diâmetros de 1,60mm e 3,00mm após a decapagem química ( $M_0$ ) nas diversas soluções ácidas, nas concentrações de 50, 100 e 200mL/L, com tempos de imersão de 5, 10, 15 e 20 minutos e temperatura de 25 °C, e após a imersão no lubrificante carreador Dynacote (M). São também apresentados os valores da diferença de massa normalizados pela área do fio.



Tabela II.A – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 50mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de ganho de massa - c=50mL/L - l,60mm													
Ácidos													
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF			
	Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	
5	0,8205	0,8256	20,29	0,809	0,8129	15,52	0,8022	0,8058	14,32	0,7893	0,7927	13,53	
	0,7976	0,8029	21,09	0,7898	0,7936	15,12	0,8162	0,82	15,12	0,8116	0,8148	12,73	
	0,8134	0,8188	21,49	0,7916	0,795	13,53	0,818	0,8212	12,73	0,8148	0,8175	10,74	
<b>Soma</b>	<b>2,4315</b>	<b>2,4473</b>	<b>62,87</b>	<b>2,3904</b>	<b>2,4015</b>	<b>44,17</b>	<b>2,4364</b>	<b>2,447</b>	<b>42,18</b>	<b>2,4157</b>	<b>2,425</b>	<b>37,00</b>	
<b>Média</b>			20,96			14,72			14,06			12,33	
10	0,8084	0,8135	20,29	0,8083	0,8142	23,48	0,8033	0,8074	16,31	0,8055	0,8097	16,71	
	0,8146	0,8195	19,50	0,8017	0,8079	24,67	0,7971	0,8009	15,12	0,8152	0,819	15,12	
	0,8079	0,8145	26,26	0,8186	0,8248	24,67	0,8044	0,8075	12,33	0,8133	0,8179	18,30	
<b>Soma</b>	<b>2,4309</b>	<b>2,4475</b>	<b>66,05</b>	<b>2,4286</b>	<b>2,4469</b>	<b>72,81</b>	<b>2,4048</b>	<b>2,4158</b>	<b>43,77</b>	<b>2,434</b>	<b>2,4466</b>	<b>50,13</b>	
<b>Média</b>			22,02			24,27			14,59			16,71	
15	0,8029	0,81	28,25	0,8202	0,8246	17,51	0,8094	0,8139	17,90	0,795	0,799	15,92	
	0,793	0,7988	23,08	0,7985	0,8047	24,67	0,8019	0,8048	11,54	0,7996	0,8028	12,73	
	0,8016	0,806	17,51	0,8148	0,8203	21,88	0,818	0,8212	12,73	0,8047	0,8082	13,93	
<b>Soma</b>	<b>2,3975</b>	<b>2,4148</b>	<b>68,83</b>	<b>2,4335</b>	<b>2,4496</b>	<b>64,06</b>	<b>2,4293</b>	<b>2,4399</b>	<b>42,18</b>	<b>2,3993</b>	<b>2,41</b>	<b>42,57</b>	
<b>Média</b>			22,94			21,35			14,06			14,19	
20	0,7994	0,8038	17,51	0,8057	0,81	17,11	0,7878	0,7915	14,72	0,7995	0,803	13,93	
	0,8017	0,8054	14,72	0,7956	0,8008	20,69	0,8151	0,819	15,52	0,816	0,8182	8,75	
	0,8099	0,8151	20,69	0,789	0,7928	15,12	0,807	0,8109	15,52	0,8253	0,8286	13,13	
<b>Soma</b>	<b>2,411</b>	<b>2,4243</b>	<b>52,92</b>	<b>2,3903</b>	<b>2,4036</b>	<b>52,92</b>	<b>2,4099</b>	<b>2,4214</b>	<b>45,76</b>	<b>2,4408</b>	<b>2,4498</b>	<b>35,81</b>	
<b>Média</b>			17,64			17,64			15,25			11,94	
<b>Total (soma)</b>	<b>9,6709</b>	<b>9,7339</b>	<b>250,67</b>	<b>9,6428</b>	<b>9,7016</b>	<b>233,96</b>	<b>9,6804</b>	<b>9,7241</b>	<b>173,88</b>	<b>9,6898</b>	<b>9,7314</b>	<b>165,52</b>	

Tabela II.B – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 50mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de ganho de massa - c=50mL/L - 3,00mm													
Ácidos													
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF			
	Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	
5	2,6426	2,6564	29,28	2,7911	2,7973	13,16	2,7251	2,7325	15,70	2,8633	2,8715	17,40	
	2,75	2,7627	26,95	2,8084	2,8157	15,49	2,734	2,7416	16,13	2,8282	2,8352	14,85	
	2,7598	2,772	25,89	2,8786	2,8857	15,07	2,8049	2,8143	19,95	2,8922	2,9001	16,76	
<b>Soma</b>	8,1524	8,1911	<b>82,12</b>	8,4781	8,4987	<b>43,71</b>	8,264	8,2884	<b>51,78</b>	8,5837	8,6068	<b>49,02</b>	
<b>Média</b>			27,37			14,57			17,26			16,34	
10	2,7454	2,7542	18,67	2,8087	2,8228	29,92	2,7165	2,7266	21,43	2,815	2,8244	19,95	
	2,7738	2,7831	19,74	2,7964	2,8083	25,25	2,7409	2,7521	23,77	2,805	2,8161	23,55	
	2,783	2,7972	30,13	2,7776	2,7924	31,41	2,8409	2,8494	18,04	2,826	2,8349	18,89	
<b>Soma</b>	8,3022	8,3345	<b>68,54</b>	8,3827	8,4235	<b>86,58</b>	8,2983	8,3281	<b>63,24</b>	8,446	8,4754	<b>62,39</b>	
<b>Média</b>			22,85			28,86			21,08			20,80	
15	2,7594	2,7732	29,28	2,7555	2,7678	26,10	2,767	2,7756	18,25	2,792	2,8011	19,31	
	2,7976	2,8115	29,50	2,7649	2,7752	21,86	2,7968	2,8072	22,07	2,8019	2,8096	16,34	
	2,7815	2,7908	19,74	2,7975	2,8093	25,04	2,8321	2,8408	18,46	2,8888	2,8983	20,16	
<b>Soma</b>	8,3385	8,3755	<b>78,52</b>	8,3179	8,3523	<b>73,00</b>	8,3959	8,4236	<b>58,78</b>	8,4827	8,509	<b>55,81</b>	
<b>Média</b>			26,17			24,33			19,59			18,60	
20	2,7219	2,732	21,43	2,702	2,7103	17,61	2,7608	2,7677	14,64	2,761	2,768	14,85	
	2,7898	2,8003	22,28	2,7191	2,7266	15,92	2,7857	2,7934	16,34	2,7986	2,8063	16,34	
	2,7717	2,7828	23,55	2,8226	2,8303	16,34	2,7779	2,7848	14,64	2,7886	2,7977	19,31	
<b>Soma</b>	8,2834	8,3151	<b>67,27</b>	8,2437	8,2672	<b>49,87</b>	8,3244	8,3459	<b>45,62</b>	8,3482	8,372	<b>50,51</b>	
<b>Média</b>			22,42			16,62			15,21			16,84	
<b>Total (soma)</b>	33,0765	33,2162	<b>296,45</b>	33,4224	33,5417	<b>253,16</b>	33,2826	33,386	<b>219,42</b>	33,8606	33,9632	<b>217,72</b>	

Tabela II.C – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 100mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de ganho de massa - c=100mL/L - 1,60mm													
Ácidos													
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF			
	Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	
5	0,8058	0,81	16,71	0,7899	0,7964	25,86	0,8011	0,8056	17,90	0,7931	0,7953	8,75	
	0,8187	0,8229	16,71	0,8116	0,8185	27,45	0,8025	0,8072	18,70	0,8026	0,8056	11,94	
	0,817	0,8237	26,66	0,7982	0,8037	21,88	0,8189	0,8248	23,48	0,7969	0,8004	13,93	
<b>Soma</b>	2,4415	2,4566	<b>60,08</b>	2,3997	2,4186	<b>75,20</b>	2,4225	2,4376	<b>60,08</b>	2,3926	2,4013	<b>34,62</b>	
<b>Média</b>			20,03			25,07			20,03			11,54	
10	0,8171	0,825	31,43	0,7984	0,8064	31,83	0,7934	0,7987	21,09	0,8069	0,8134	25,86	
	0,8203	0,8244	16,31	0,8063	0,8165	40,58	0,7895	0,7966	28,25	0,8077	0,8131	21,49	
	0,7928	0,7969	16,31	0,8111	0,8203	36,61	0,806	0,8126	26,26	0,8059	0,8101	16,71	
<b>Soma</b>	2,4302	2,4463	<b>64,06</b>	2,4158	2,4432	<b>109,02</b>	2,3889	2,4079	<b>75,60</b>	2,4205	2,4366	<b>64,06</b>	
<b>Média</b>			21,35			36,34			25,20			21,35	
15	0,7976	0,8021	17,90	0,8011	0,8108	38,59	0,8011	0,8049	15,12	0,789	0,7933	17,11	
	0,7977	0,803	21,09	0,808	0,8111	12,33	0,7929	0,7968	15,52	0,7968	0,8015	18,70	
	0,8086	0,8146	23,87	0,8028	0,8062	13,53	0,796	0,8	15,92	0,8075	0,8116	16,31	
<b>Soma</b>	2,4039	2,4197	<b>62,87</b>	2,4119	2,4281	<b>64,46</b>	2,39	2,4017	<b>46,55</b>	2,3933	2,4064	<b>52,12</b>	
<b>Média</b>			20,96			21,49			15,52			17,37	
20	0,7968	0,8014	18,30	0,8002	0,8056	21,49	0,7991	0,8035	17,51	0,7923	0,7983	23,87	
	0,7971	0,8024	21,09	0,8068	0,8132	25,46	0,7932	0,798	19,10	0,7942	0,8001	23,48	
	0,7987	0,8031	17,51	0,8159	0,8213	21,49	0,7917	0,7969	20,69	0,8061	0,8112	20,29	
<b>Soma</b>	2,3926	2,4069	<b>56,90</b>	2,4229	2,4401	<b>68,44</b>	2,384	2,3984	<b>57,30</b>	2,3926	2,4096	<b>67,64</b>	
<b>Média</b>			18,97			22,81			19,10			22,55	
<b>Total (soma)</b>	9,6682	9,7295	<b>243,90</b>	9,6503	9,73	<b>317,12</b>	9,5854	9,6456	<b>239,53</b>	9,599	9,6539	<b>218,44</b>	

Tabela II.D – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 100mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de ganho de massa - c=100mL/L - 3,00mm															
Ácidos															
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF					
	Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A
5	2,7166	2,7281	24,40	2,7331	2,7459	27,16	2,8012	2,812	22,92	2,6944	2,7011	14,22			
	2,7586	2,7721	28,65	2,7343	2,7477	28,44	2,7807	2,7851	9,34	2,7895	2,7989	19,95			
	2,78	2,7885	18,04	2,7729	2,7856	26,95	2,7721	2,7903	38,62	2,7429	2,7503	15,70			
<b>Soma</b>	<b>8,2552</b>	<b>8,2887</b>	<b>71,09</b>	<b>8,2403</b>	<b>8,2792</b>	<b>82,55</b>	<b>8,354</b>	<b>8,3874</b>	<b>70,88</b>	<b>8,2268</b>	<b>8,2503</b>	<b>49,87</b>			
<b>Média</b>			23,70			27,52			23,63			16,62			
10	2,7766	2,7864	20,80	2,8006	2,8136	27,59	2,7165	2,732	32,89	2,7041	2,7175	28,44			
	2,7425	2,7599	36,92	2,8242	2,8422	38,20	2,7644	2,7765	25,68	2,787	2,8005	28,65			
	2,8153	2,8255	21,65	2,9131	2,9295	34,80	2,792	2,8121	42,65	2,7712	2,7837	26,53			
<b>Soma</b>	<b>8,3344</b>	<b>8,3718</b>	<b>79,37</b>	<b>8,5379</b>	<b>8,5853</b>	<b>100,59</b>	<b>8,2729</b>	<b>8,3206</b>	<b>101,22</b>	<b>8,2623</b>	<b>8,3017</b>	<b>83,61</b>			
<b>Média</b>			26,46			33,53			33,74			27,87			
15	2,6981	2,7113	28,01	2,8046	2,8285	50,72	2,7601	2,7717	24,62	2,7782	2,7851	14,64			
	2,7823	2,7939	24,62	2,7776	2,784	13,58	2,7178	2,7255	16,34	2,754	2,7665	26,53			
	2,7467	2,7543	16,13	2,7721	2,7798	16,34	2,7698	2,7809	23,55	2,7947	2,8039	19,52			
<b>Soma</b>	<b>8,2271</b>	<b>8,2595</b>	<b>68,75</b>	<b>8,3543</b>	<b>8,3923</b>	<b>80,64</b>	<b>8,2477</b>	<b>8,2781</b>	<b>64,51</b>	<b>8,3269</b>	<b>8,3555</b>	<b>60,69</b>			
<b>Média</b>			22,92			26,88			21,50			20,23			
20	2,7784	2,7877	19,74	2,7568	2,7719	32,04	2,6891	2,6984	19,74	2,7406	2,7542	28,86			
	2,8146	2,8229	17,61	2,7349	2,7434	18,04	2,7428	2,7567	29,50	2,7678	2,7781	21,86			
	2,7864	2,7966	21,65	2,7787	2,7902	24,40	2,7385	2,7509	26,31	2,7971	2,8074	21,86			
<b>Soma</b>	<b>8,3794</b>	<b>8,4072</b>	<b>58,99</b>	<b>8,2704</b>	<b>8,3055</b>	<b>74,48</b>	<b>8,1704</b>	<b>8,206</b>	<b>75,55</b>	<b>8,3055</b>	<b>8,3397</b>	<b>72,57</b>			
<b>Média</b>			19,66			24,83			25,18			24,19			
<b>Total (soma)</b>	<b>33,1961</b>	<b>33,3272</b>	<b>278,20</b>	<b>33,4029</b>	<b>33,5623</b>	<b>338,26</b>	<b>33,045</b>	<b>33,1921</b>	<b>312,16</b>	<b>33,1215</b>	<b>33,2472</b>	<b>266,74</b>			

Tabela II.E – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 200mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de ganho de massa - c=200mL/L - 1,60mm													
Ácidos													
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF			
	Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	
5	0,8133	0,819	22,68	0,8003	0,8057	21,49	0,7961	0,7996	13,93	0,7984	0,8013	11,54	
	0,8081	0,8148	26,66	0,8016	0,8076	23,87	0,7884	0,7932	19,10	0,7931	0,7962	12,33	
	0,8118	0,8185	26,66	0,7872	0,7935	25,07	0,8119	0,8166	18,70	0,801	0,8045	13,93	
<b>Soma</b>	2,4332	2,4523	<b>76,00</b>	2,3891	2,4068	<b>70,43</b>	2,3964	2,4094	<b>51,73</b>	2,3925	2,402	<b>37,80</b>	
<b>Média</b>			25,33			23,48			17,24			12,60	
10	0,7942	0,799	19,10	0,8098	0,8127	11,54	0,7959	0,8008	19,50	0,8015	0,8065	19,89	
	0,7965	0,8018	21,09	0,8063	0,8112	19,50	0,8117	0,8152	13,93	0,7986	0,8015	11,54	
	0,7878	0,793	20,69	0,8019	0,8055	14,32	0,812	0,8151	12,33	0,7925	0,7973	19,10	
<b>Soma</b>	2,3785	2,3938	<b>60,88</b>	2,418	2,4294	<b>45,36</b>	2,4196	2,4311	<b>45,76</b>	2,3926	2,4053	<b>50,53</b>	
<b>Média</b>			20,29			15,12			15,25			16,84	
15	0,7898	0,7945	18,70	0,8013	0,8049	14,32	0,7867	0,7908	16,31	0,7892	0,7922	11,94	
	0,8069	0,8109	15,92	0,8123	0,8154	12,33	0,8002	0,8064	24,67	0,8009	0,805	16,31	
	0,807	0,8115	17,90	0,7981	0,8019	15,12	0,8017	0,8072	21,88	0,8003	0,8041	15,12	
<b>Soma</b>	2,4037	2,4169	<b>52,52</b>	2,4117	2,4222	<b>41,78</b>	2,3886	2,4044	<b>62,87</b>	2,3904	2,4013	<b>43,37</b>	
<b>Média</b>			17,51			13,93			20,96			14,46	
20	0,7996	0,8039	17,11	0,8011	0,8068	22,68	0,8078	0,8117	15,52	0,7937	0,7975	15,12	
	0,8006	0,8052	18,30	0,7889	0,7941	20,69	0,8008	0,8047	15,52	0,7842	0,7893	20,29	
	0,8136	0,8185	19,50	0,7915	0,7978	25,07	0,7942	0,7979	14,72	0,7943	0,7983	15,92	
<b>Soma</b>	2,4138	2,4276	<b>54,91</b>	2,3815	2,3987	<b>68,44</b>	2,4028	2,4143	<b>45,76</b>	2,3722	2,3851	<b>51,33</b>	
<b>Média</b>			18,30			22,81			15,25			17,11	
<b>Total (soma)</b>	9,6292	9,6906	<b>244,30</b>	9,6003	9,6571	<b>226,00</b>	9,6074	9,6592	<b>206,11</b>	9,5477	9,5937	<b>183,03</b>	

Tabela II.F – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 200mL/L, nos diversos tempos de imersão à temperatura ambiente.

Análise de ganho de massa - c=200mL/L - 3,00mm														
Ácidos														
Tempo (min)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF			(M-M0)/A	
	Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A		(M0)
5	2,6942	2,7049	22,71	2,7611	2,7762	32,04	2,7711	2,7802	19,31	2,7672	2,7733	12,94		
	2,7484	2,7624	29,71	2,7585	2,7724	29,50	2,7802	2,7901	21,01	2,7451	2,7527	16,13		
	2,7717	2,7838	25,68	2,8375	2,8537	34,38	2,8356	2,8457	21,43	2,7705	2,7756	10,82		
<b>Soma</b>	8,2143	8,2511	<b>78,09</b>	8,3571	8,4023	<b>95,92</b>	8,3869	8,416	<b>61,75</b>	8,2828	8,3016	<b>39,89</b>		
<b>Média</b>			26,03			31,97			20,58			13,30		
10	2,6629	2,6741	23,77	2,735	2,7425	15,92	2,7958	2,8044	18,25	2,8241	2,8313	15,28		
	2,7495	2,7612	24,83	2,7669	2,7752	17,61	2,7787	2,7866	16,76	2,7861	2,7926	13,79		
	2,7139	2,7266	26,95	2,8775	2,8887	23,77	2,8238	2,833	19,52	2,7875	2,7942	14,22		
<b>Soma</b>	8,1263	8,1619	<b>75,55</b>	8,3794	8,4064	<b>57,30</b>	8,3983	8,424	<b>54,54</b>	8,3977	8,4181	<b>43,29</b>		
<b>Média</b>			25,18			19,10			18,18			14,43		
15	2,6859	2,695	19,31	2,6864	2,696	20,37	2,7141	2,7248	22,71	2,7669	2,7745	16,13		
	2,7364	2,7481	24,83	2,7904	2,7999	20,16	2,8008	2,8108	21,22	2,7453	2,7512	12,52		
	2,7753	2,7846	19,74	2,7735	2,7832	20,58	2,749	2,7588	20,80	2,7846	2,7945	21,01		
<b>Soma</b>	8,1976	8,2277	<b>63,87</b>	8,2503	8,2791	<b>61,12</b>	8,2639	8,2944	<b>64,72</b>	8,2968	8,3202	<b>49,66</b>		
<b>Média</b>			21,29			20,37			21,57			16,55		
20	2,68	2,687	14,85	2,7841	2,7939	20,80	2,7075	2,7177	21,65	2,7476	2,7559	17,61		
	2,7405	2,7535	27,59	2,8005	2,8134	27,37	2,7372	2,7478	22,49	2,7648	2,7765	24,83		
	2,8148	2,8255	22,71	2,8343	2,8431	18,67	2,7849	2,7965	24,62	2,8037	2,8112	15,92		
<b>Soma</b>	8,2353	8,266	<b>65,15</b>	8,4189	8,4504	<b>66,84</b>	8,2296	8,262	<b>68,75</b>	8,3161	8,3436	<b>58,36</b>		
<b>Média</b>			21,72			22,28			22,92			19,45		
<b>Total (soma)</b>	32,7735	32,9067	<b>282,66</b>	33,4057	33,5382	<b>281,17</b>	33,2787	33,396	<b>249,77</b>	33,2934	33,3835	<b>191,20</b>		

## Anexo III

Neste anexo são apresentadas as tabelas com os pesos das amostras de fios de aço inoxidável ABNT 304L nos diâmetros de 1,60mm e 3,00mm após a decapagem química ( $M_0$ ) na solução decapante  $HNO_3/HCl$  com concentração de 100mL/L, tempo de imersão dos fios de 15 minutos e temperatura de 25°C, e após a imersão no lubrificante carreador Dynacote (M). Também são apresentados os valores da diferença de massa normalizados pela área do respectivo fio.

Tabela III.A – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando a solução decapante HNO<sub>3</sub>/HCl na concentração de 100mL/L, com o tempo de imersão de 15 minutos à temperatura ambiente, nas diversas concentrações de ácido clorídrico.

Análise de ganho de massa - c=100mL/L t=15min -1,60mm				Análise de ganho de massa - c=100mL/L t=15min -1,60mm			
Conc.HCl	HNO <sub>3</sub> -HCl			Conc.HCl	HNO <sub>3</sub> -HCl		
(mL)	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(mL)	(M0)	(M)	(M-M0)/A
20	0,794	0,7988	19,10	30	0,7972	0,8033	24,27
	0,7974	0,8009	13,93		0,7926	0,7977	20,29
	0,8215	0,8255	15,92		0,8048	0,8112	25,46
	0,808	0,8108	11,14		0,8023	0,8054	12,33
	0,8037	0,8062	9,95		0,7995	0,8022	10,74
	0,7991	0,8014	9,15		0,8099	0,8135	14,32
	0,7952	0,8008	22,28		0,8007	0,8054	18,70
	0,798	0,8023	17,11		0,7959	0,8016	22,68
	0,8124	0,8169	17,90		0,8203	0,8244	16,31
<b>Soma</b>	7,2293	7,2636	<b>136,48</b>	<b>Soma</b>	7,2232	7,2647	<b>165,12</b>
<b>Média</b>	0,8033	0,8071	<b>15,16</b>	<b>Média</b>	0,8026	0,8072	<b>18,35</b>
25	0,797	0,8057	34,62	35	0,8033	0,8074	16,31
	0,8005	0,8113	42,97		0,7964	0,7999	13,93
	0,8057	0,8154	38,59		0,7941	0,7976	13,93
	0,8032	0,8071	15,52		0,804	0,8074	13,53
	0,8007	0,8035	11,14		0,7925	0,7954	11,54
	0,8202	0,8228	10,35		0,8086	0,8119	13,13
	0,8113	0,8146	13,13		0,7916	0,7949	13,13
	0,7987	0,8025	15,12		0,7908	0,7947	15,52
	0,7985	0,8015	11,94		0,8061	0,8119	23,08
<b>Soma</b>	7,2358	7,2844	<b>193,37</b>	<b>Soma</b>	7,1874	7,2211	<b>134,09</b>
<b>Média</b>	0,8040	0,8094	<b>21,49</b>	<b>Média</b>	0,7986	0,8023	<b>14,90</b>
				<b>Total (soma)</b>	28,88	29,03	<b>629,06</b>



Tabela III.B – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando a solução decapante HNO<sub>3</sub>/HCl na concentração de 100mL/L, com o tempo de imersão de 15 minutos à temperatura ambiente, nas diversas concentrações de ácido clorídrico.

Análise de ganho de massa - c=100mL/L t=15min -1,60mm				Análise de ganho de massa - c=100mL/L t=15min -1,60mm			
Conc.HCl	HNO <sub>3</sub> -HCl			Conc.HCl	HNO <sub>3</sub> -HCl		
(mL)	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(mL)	(M0)	(M)	(M-M0)/A
20	2,7084	2,7164	16,98	30	2,7237	2,7339	21,65
	2,7699	2,7784	18,04		2,7493	2,7584	19,31
	2,7622	2,7711	18,89		2,8223	2,8332	23,13
	2,7574	2,7643	14,64		2,8033	2,8112	16,76
	2,8137	2,8207	14,85		2,8262	2,8337	15,92
	2,8801	2,887	14,64		2,8842	2,8909	14,22
	2,7764	2,7865	21,43		2,7836	2,7948	23,77
	2,7576	2,7657	17,19		2,7493	2,7582	18,89
	2,8082	2,816	16,55		2,7832	2,7917	18,04
<b>Soma</b>	25,034	25,106	<b>153,21</b>	<b>Soma</b>	25,125	25,206	<b>171,67</b>
<b>Média</b>	2,7815	2,7896	<b>17,02</b>	<b>Média</b>	2,7917	2,8007	<b>19,07</b>
25	2,8189	2,839	42,65	35	2,7893	2,7983	19,10
	2,744	2,7727	60,90		2,7636	2,7721	18,04
	2,8508	2,8739	49,02		2,84	2,8498	20,80
	2,7597	2,7653	11,88		2,6442	2,6501	12,52
	2,7898	2,7965	14,22		2,8446	2,852	15,70
	2,7832	2,7901	14,64		2,8885	2,897	18,04
	2,7679	2,7759	16,98		2,8033	2,8122	18,89
	2,804	2,8104	13,58		2,7985	2,8099	24,19
	2,7445	2,7532	18,46		2,8178	2,8277	21,01
<b>Soma</b>	25,063	25,177	<b>242,34</b>	<b>Soma</b>	25,19	25,269	<b>168,28</b>
<b>Média</b>	2,7848	2,7974	<b>26,93</b>	<b>Média</b>	2,7989	2,8077	<b>18,70</b>
				<b>Total (soma)</b>	100,41	100,76	<b>735,51</b>

## Anexo IV

Neste anexo são apresentadas as tabelas com os valores médios das leituras de rugosidades superficiais dos fios de aço inoxidável ABNT 304L nos diâmetros de 1,60mm e 3,00mm, antes ( $R_0$ ) e após ( $R$ ) a decapagem química nas diversas soluções ácidas nas concentrações de 50, 100 e 200 mL/L, com tempo de imersão de 15 minutos e temperaturas de 25, 40, 60 e 80°C. As tabelas também apresentam os valores de rugosidade normalizada pela área ( $R/R_0$ ).

Tabela IV.A – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 100mL/L nas diversas temperaturas e tempo de imersão de 15 minutos.

Análise de rugosidade - c=100mL/L - 1,60mm												
Ácidos												
Temp. (°C)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
25	0,48	0,44	0,92	0,52	0,46	0,88	0,44	0,41	0,93	0,53	0,54	1,02
	0,51	0,52	1,02	0,54	0,48	0,89	0,51	0,51	1,00	0,47	0,52	1,11
	0,43	0,43	1,00	0,48	0,47	0,98	0,43	0,46	1,07	0,42	0,38	0,90
<b>Soma</b>	1,42	1,39	<b>2,94</b>	1,54	1,41	<b>2,75</b>	1,38	1,38	<b>3,00</b>	1,42	1,44	<b>3,03</b>
<b>Média</b>			0,98			0,92			1,00			1,01
40	0,47	0,5	1,06	0,45	0,48	1,07	0,5	0,57	1,14	0,49	0,5	1,02
	0,5	0,57	1,14	0,56	0,58	1,04	0,53	0,58	1,09	0,42	0,56	1,33
	0,42	0,46	1,10	0,55	0,63	1,15	0,54	0,66	1,22	0,44	0,66	1,50
<b>Soma</b>	1,39	1,53	<b>3,30</b>	1,56	1,69	<b>3,25</b>	1,57	1,81	<b>3,46</b>	1,35	1,72	<b>3,85</b>
<b>Média</b>			1,10			1,08			1,15			1,28
60	0,47	0,55	1,17	0,51	0,52	1,02	0,49	0,54	1,10	0,53	0,79	1,49
	0,48	0,48	1,00	0,57	0,59	1,04	0,55	0,59	1,07	0,5	0,72	1,44
	0,4	0,45	1,13	0,52	0,62	1,19	0,5	0,51	1,02	0,51	0,58	1,14
<b>Soma</b>	1,35	1,48	<b>3,30</b>	1,6	1,73	<b>3,25</b>	1,54	1,64	<b>3,19</b>	1,54	2,09	<b>4,07</b>
<b>Média</b>			1,10			1,08			1,06			1,36
80	0,52	0,52	1,00	0,44	0,58	1,32	0,49	0,59	1,20	0,54	0,79	1,46
	0,51	0,47	0,92	0,52	0,62	1,19	0,46	0,63	1,37	0,49	0,71	1,45
	0,43	0,4	0,93	0,46	0,53	1,15	0,52	0,57	1,10	0,51	0,55	1,08
<b>Soma</b>	1,46	1,39	<b>2,85</b>	1,42	1,73	<b>3,66</b>	1,47	1,79	<b>3,67</b>	1,54	2,05	<b>3,99</b>
<b>Média</b>			0,95			1,22			1,22			1,33
<b>Total (soma)</b>	5,62	5,79	<b>12,38</b>	6,12	6,56	<b>12,91</b>	5,96	6,62	<b>13,32</b>	5,85	7,3	<b>14,94</b>

Tabela IV.B – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 100mL/L nas diversas temperaturas e tempo de imersão de 15 minutos.

Análise de rugosidade - c=100mL/L - 3,00mm												
Ácidos												
Temp. (°C)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
25	0,98	0,96	0,98	1,21	1,1	0,91	0,65	0,51	0,78	1,39	1,19	0,86
	0,57	0,7	1,23	0,75	0,69	0,92	0,69	0,73	1,06	1	1,16	1,16
	0,9	0,83	0,92	0,67	0,97	1,45	1,21	1,2	0,99	0,81	0,85	1,05
<b>Soma</b>	<b>2,45</b>	<b>2,49</b>	<b>3,13</b>	<b>2,63</b>	<b>2,76</b>	<b>3,28</b>	<b>2,55</b>	<b>2,44</b>	<b>2,83</b>	<b>3,2</b>	<b>3,2</b>	<b>3,07</b>
<b>Média</b>			1,04			1,09			0,94			1,02
40	0,98	0,95	0,97	0,94	1,11	1,18	0,95	1,31	1,38	0,94	1,19	1,27
	1,01	0,86	0,85	0,88	1,01	1,15	1,17	1,47	1,26	1,06	1,22	1,15
	1,12	1,28	1,14	0,94	1,12	1,19	1,25	1,33	1,06	1,2	1,36	1,13
<b>Soma</b>	<b>3,11</b>	<b>3,09</b>	<b>2,96</b>	<b>2,76</b>	<b>3,24</b>	<b>3,52</b>	<b>3,37</b>	<b>4,11</b>	<b>3,70</b>	<b>3,2</b>	<b>3,77</b>	<b>3,55</b>
<b>Média</b>			0,99			1,17			1,23			1,18
60	1,28	1,51	1,18	1,15	1,14	0,99	1,14	1,15	1,01	1,13	1,34	1,19
	0,99	0,98	0,99	1,14	1,38	1,21	1,37	1,48	1,08	1,08	1,45	1,34
	1,24	1,28	1,03	1,05	0,89	0,85	1,3	1,38	1,06	1,15	1,45	1,26
<b>Soma</b>	<b>3,51</b>	<b>3,77</b>	<b>3,20</b>	<b>3,34</b>	<b>3,41</b>	<b>3,05</b>	<b>3,81</b>	<b>4,01</b>	<b>3,15</b>	<b>3,36</b>	<b>4,24</b>	<b>3,79</b>
<b>Média</b>			1,07			1,02			1,05			1,26
80	1,05	1,19	1,13	1,31	1,38	1,05	1,43	1,07	0,75	1,01	1,42	1,41
	1,41	1,22	0,87	1,32	1,09	0,83	1,18	1,04	0,88	1,15	1,13	0,98
	1,22	1,48	1,21	1,53	1,31	0,86	1,06	0,83	0,78	1,52	1,39	0,91
<b>Soma</b>	<b>3,68</b>	<b>3,89</b>	<b>3,21</b>	<b>4,16</b>	<b>3,78</b>	<b>2,74</b>	<b>3,67</b>	<b>2,94</b>	<b>2,41</b>	<b>3,68</b>	<b>3,94</b>	<b>3,30</b>
<b>Média</b>			1,07			0,91			0,80			1,10
<b>Total (soma)</b>	<b>12,75</b>	<b>13,24</b>	<b>12,51</b>	<b>12,9</b>	<b>13,2</b>	<b>12,58</b>	<b>13,4</b>	<b>13,5</b>	<b>12,10</b>	<b>13,4</b>	<b>15,2</b>	<b>13,71</b>

Tabela IV.C – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 200mL/L nas diversas temperaturas e tempo de imersão de 15 minutos.

Análise de rugosidade - c=200mL/L - 1,60mm												
Ácidos												
Temp. (°C)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
25	0,48	0,5	1,04	0,46	0,47	1,02	0,44	0,43	0,98	0,49	0,42	0,86
	0,46	0,58	1,26	0,37	0,41	1,11	0,39	0,39	1,00	0,46	0,55	1,20
	0,5	0,44	0,88	0,41	0,42	1,02	0,48	0,44	0,92	0,52	0,51	0,98
<b>Soma</b>	1,44	1,52	<b>3,18</b>	1,24	1,3	<b>3,15</b>	1,31	1,26	<b>2,89</b>	1,47	1,48	<b>3,03</b>
<b>Média</b>			1,06			1,05			0,96			1,01
40	0,47	0,49	1,04	0,5	0,43	0,86	0,43	0,41	0,95	0,52	0,54	1,04
	0,39	0,39	1,00	0,44	0,61	1,39	0,44	0,46	1,05	0,51	0,57	1,12
	0,48	0,41	0,85	0,42	0,56	1,33	0,45	0,48	1,07	0,5	0,68	1,36
<b>Soma</b>	1,34	1,29	<b>2,90</b>	1,36	1,6	<b>3,58</b>	1,32	1,35	<b>3,07</b>	1,53	1,79	<b>3,52</b>
<b>Média</b>			0,97			1,19			1,02			1,17
60	0,45	0,53	1,18	0,39	0,52	1,33	0,45	0,48	1,07	0,47	0,76	1,62
	0,41	0,45	1,10	0,51	0,43	0,84	0,42	0,54	1,29	0,53	0,66	1,25
	0,43	0,45	1,05	0,45	0,52	1,16	0,43	0,46	1,07	0,56	0,67	1,20
<b>Soma</b>	1,29	1,43	<b>3,32</b>	1,35	1,47	<b>3,33</b>	1,3	1,48	<b>3,42</b>	1,56	2,09	<b>4,06</b>
<b>Média</b>			1,11			1,11			1,14			1,35
80	0,41	0,45	1,10	0,45	0,61	1,36	0,51	0,55	1,08	0,44	0,81	1,84
	0,46	0,45	0,98	0,47	0,54	1,15	0,45	0,58	1,29	0,55	0,69	1,25
	0,45	0,53	1,18	0,5	0,54	1,08	0,52	0,53	1,02	0,53	0,74	1,40
<b>Soma</b>	1,32	1,43	<b>3,25</b>	1,42	1,69	<b>3,58</b>	1,48	1,66	<b>3,39</b>	1,52	2,24	<b>4,49</b>
<b>Média</b>			1,08			1,19			1,13			1,50
<b>Total (soma)</b>	5,39	5,67	<b>12,65</b>	5,37	6,06	<b>13,65</b>	5,41	5,75	<b>12,77</b>	6,08	7,6	<b>15,10</b>

Tabela IV.D – Medidas de rugosidade dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a decapagem química nas soluções ácidas com concentração de 200mL/L nas diversas temperaturas e tempo de imersão de 15 minutos.

Análise de rugosidade - c=200mL/L - 3,00mm												
Ácidos												
Temp. (°C)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF		
	Antes(R0)	Após(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0	(R0)	(R)	R/R0
25	1,44	1,38	0,96	0,98	1,12	1,14	1,16	1,07	0,92	1,54	1,62	1,05
	1,29	1,15	0,89	0,89	0,88	0,99	0,98	0,98	1,00	1,47	1,38	0,94
	1,22	1,09	0,89	0,99	0,89	0,90	0,74	0,9	1,22	1,04	1,04	1,00
<b>Soma</b>	3,95	3,62	<b>2,74</b>	2,86	2,89	<b>3,03</b>	2,88	2,95	<b>3,14</b>	4,05	4,04	<b>2,99</b>
<b>Média</b>			0,91			1,01			1,05			1,00
40	0,47	0,72	1,53	1,28	1,34	1,05	0,87	0,86	0,99	0,65	1,06	1,63
	1,2	1,1	0,92	1,05	0,72	0,69	0,9	0,77	0,86	0,8	0,9	1,13
	0,8	0,61	0,76	1,23	1,36	1,11	0,83	0,77	0,93	1,19	1,36	1,14
<b>Soma</b>	2,47	2,43	<b>3,21</b>	3,56	3,42	<b>2,84</b>	2,6	2,4	<b>2,77</b>	2,64	3,32	<b>3,90</b>
<b>Média</b>			1,07			0,95			0,92			1,30
60	0,92	0,74	0,80	1,03	0,89	0,86	0,63	0,79	1,25	0,93	1,41	1,52
	0,75	0,64	0,85	0,85	0,97	1,14	0,97	1,05	1,08	1	1,35	1,35
	0,71	0,74	1,04	0,69	1,09	1,58	0,68	0,69	1,01	0,9	1,86	2,07
<b>Soma</b>	2,38	2,12	<b>2,70</b>	2,57	2,95	<b>3,58</b>	2,28	2,53	<b>3,35</b>	2,83	4,62	<b>4,93</b>
<b>Média</b>			0,90			1,19			1,12			1,64
80	0,77	1,04	1,35	0,9	0,76	0,84	0,56	0,8	1,43	0,79	1,37	1,73
	0,6	0,44	0,73	0,75	1,27	1,69	0,43	0,55	1,28	0,95	1,54	1,62
	0,71	0,87	1,23	1,11	0,86	0,77	0,81	0,94	1,16	1,07	1,4	1,31
<b>Soma</b>	2,08	2,35	<b>3,31</b>	2,76	2,89	<b>3,31</b>	1,8	2,29	<b>3,87</b>	2,81	4,31	<b>4,66</b>
<b>Média</b>			1,10			1,10			1,29			1,55
<b>Total (soma)</b>	10,88	10,52	<b>11,96</b>	11,8	12,2	<b>12,77</b>	9,56	10,2	<b>13,13</b>	12,3	16,3	<b>16,49</b>

## **Anexo V**

Neste anexo são apresentadas as tabelas com os pesos das amostras de fios de aço inoxidável ABNT 304L nos diâmetros de 1,60mm e 3,00mm após a decapagem química ( $M_0$ ) nas diversas soluções ácidas, nas concentrações de 100 e 200mL/L, com tempo de imersão de 15 minutos e temperaturas de 25, 40, 60 e 80°C, e após a imersão no lubrificante carreador Dynacote (M). São também apresentados os valores da diferença de massa normalizados pela área do fio.

Tabela V.A – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 100 mL/L com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas.

Temp. (°C)		Análise de ganho de massa - c=100mL/L - 1,60mm														
		HNO <sub>3</sub>				HNO <sub>3</sub> -HCl				HNO <sub>3</sub> -HCl-HF				HNO <sub>3</sub> -HF		
		Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A
25		0,7976	0,8021	17,90	0,8011	0,8108	38,59	0,8011	0,8049	15,12	0,789	0,7933	17,11	0,789	0,7933	17,11
		0,7977	0,803	21,09	0,808	0,8111	12,33	0,7929	0,7968	15,52	0,7968	0,8015	18,70	0,7968	0,8015	18,70
		0,8086	0,8146	23,87	0,8028	0,8062	13,53	0,796	0,8	15,92	0,8075	0,8116	16,31	0,8075	0,8116	16,31
<b>Soma</b>		2,4039	2,4197	<b>62,87</b>	2,4119	2,4281	<b>64,46</b>	2,39	2,4017	<b>46,55</b>	2,3933	2,4064	<b>52,12</b>	2,3933	2,4064	<b>52,12</b>
<b>Média</b>				20,96			21,49			15,52			17,37			17,37
40		0,7995	0,8034	15,52	0,7946	0,7982	14,32	0,7978	0,8022	17,51	0,7971	0,7995	9,55	0,7971	0,7995	9,55
		0,7992	0,8037	17,90	0,7944	0,7982	15,12	0,792	0,7958	15,12	0,7937	0,7962	9,95	0,7937	0,7962	9,95
		0,7978	0,8015	14,72	0,787	0,7915	17,90	0,793	0,7979	19,50	0,7836	0,7877	16,31	0,7836	0,7877	16,31
<b>Soma</b>		2,3965	2,4086	<b>48,14</b>	2,376	2,3879	<b>47,35</b>	2,3828	2,3959	<b>52,12</b>	2,3744	2,3834	<b>35,81</b>	2,3744	2,3834	<b>35,81</b>
<b>Média</b>				16,05			15,78			17,37			11,94			11,94
60		0,7917	0,7966	19,50	0,794	0,7997	22,68	0,785	0,7878	11,14	0,7983	0,8026	17,11	0,7983	0,8026	17,11
		0,7953	0,7999	18,30	0,7818	0,7866	19,10	0,7892	0,7929	14,72	0,7965	0,7992	10,74	0,7965	0,7992	10,74
		0,7962	0,8004	16,71	0,7855	0,7905	19,89	0,7994	0,8046	20,69	0,7931	0,7955	9,55	0,7931	0,7955	9,55
<b>Soma</b>		2,3832	2,3969	<b>54,51</b>	2,3613	2,3768	<b>61,67</b>	2,3736	2,3853	<b>46,55</b>	2,3879	2,3973	<b>37,40</b>	2,3879	2,3973	<b>37,40</b>
<b>Média</b>				18,17			20,56			15,52			12,47			12,47
80		0,8144	0,8198	21,49	0,7842	0,7893	20,29	0,7732	0,7803	28,25	0,7897	0,7941	17,51	0,7897	0,7941	17,51
		0,7995	0,8034	15,52	0,7888	0,7941	21,09	0,7915	0,801	37,80	0,7929	0,7954	9,95	0,7929	0,7954	9,95
		0,8052	0,8092	15,92	0,7924	0,796	14,32	0,8026	0,8067	16,31	0,7993	0,8032	15,52	0,7993	0,8032	15,52
<b>Soma</b>		2,4191	2,4324	<b>52,92</b>	2,3654	2,3794	<b>55,70</b>	2,3673	2,388	<b>82,36</b>	2,3819	2,3927	<b>42,97</b>	2,3819	2,3927	<b>42,97</b>
<b>Média</b>				17,64			18,57			27,45			14,32			14,32
<b>Total (soma)</b>		9,6027	9,6576	<b>218,44</b>	9,5146	9,5722	<b>229,18</b>	9,5137	9,5709	<b>227,59</b>	9,5375	9,5798	<b>168,31</b>	9,5375	9,5798	<b>168,31</b>



Tabela V.B – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 100 mL/L com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas.

Análise de ganho de massa - c=100mL/L - 3,00mm													
Temp. (°C)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF			
	Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	
25	2,6981	2,7113	28,0112	2,8046	2,8285	50,72	2,7601	2,7717	24,62	2,7782	2,7851	14,64	
	2,7823	2,7939	24,6159	2,7776	2,784	13,58	2,7178	2,7255	16,34	2,754	2,7665	26,53	
	2,7467	2,7543	16,1277	2,7721	2,7798	16,34	2,7698	2,7809	23,55	2,7947	2,8039	19,52	
	8,2271	8,2595	<b>68,7548</b>	8,3543	8,3923	<b>80,64</b>	8,2477	8,2781	<b>64,51</b>	8,3269	8,3555	<b>60,69</b>	
<b>Média</b>		22,92			26,88			21,50				20,23	
40	2,7551	2,7644	19,7352	2,7474	2,7565	19,31	2,8142	2,8237	20,16	2,7054	2,7098	9,34	
	2,7958	2,8026	14,43	2,8152	2,8243	19,31	2,7809	2,7898	18,89	2,732	2,7388	14,43	
	2,7968	2,8038	14,8544	2,7772	2,7855	17,61	2,7735	2,7816	17,19	2,7458	2,7527	14,64	
	8,3477	8,3708	<b>49,0196</b>	8,3398	8,3663	<b>56,23</b>	8,3686	8,3951	<b>56,23</b>	8,1832	8,2013	<b>38,41</b>	
<b>Média</b>		16,34			18,74			18,74				12,80	
60	2,773	2,7842	23,7671	2,7406	2,7496	19,10	2,7108	2,7192	17,83	2,7057	2,7121	13,58	
	2,7668	2,7739	15,0666	2,7363	2,7433	14,85	2,7525	2,761	18,04	2,7715	2,7783	14,43	
	2,8285	2,8396	23,5549	2,7502	2,7601	21,01	2,7397	2,7493	20,37	2,7647	2,7714	14,22	
	8,3683	8,3977	<b>62,3886</b>	8,2271	8,253	<b>54,96</b>	8,203	8,2295	<b>56,23</b>	8,2419	8,2618	<b>42,23</b>	
<b>Média</b>		20,80			18,32			18,74				14,08	
80	2,7605	2,7738	28,2234	2,7834	2,7915	17,19	2,706	2,714	16,98	2,7154	2,7248	19,95	
	2,8166	2,8276	23,3427	2,7653	2,7717	13,58	2,7069	2,7145	16,13	2,7206	2,7273	14,22	
	2,7943	2,8039	20,3718	2,7737	2,7819	17,40	2,7302	2,7442	29,71	2,8024	2,81	16,13	
	8,3714	8,4053	<b>71,9379</b>	8,3224	8,3451	<b>48,17</b>	8,1431	8,1727	<b>62,81</b>	8,2384	8,2621	<b>50,29</b>	
<b>Média</b>		23,98			16,06			20,94				16,76	
<b>Total (soma)</b>	33,3145	33,4333	<b>252,101</b>	33,2436	33,3567	<b>240,01</b>	32,9624	33,0754	<b>239,79</b>	32,9904	33,0807	<b>191,62</b>	

Tabela V.C – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 200 mL/L com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas.

Análise de ganho de massa - c=200mL/L - 1,60mm													
Ácidos													
Temp. (°C)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF			
	Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	
25	0,7898	0,7945	18,70	0,8013	0,8049	14,32	0,7867	0,7908	16,31	0,7892	0,7922	11,94	
	0,8069	0,8109	15,92	0,8123	0,8154	12,33	0,8002	0,8064	24,67	0,8009	0,805	16,31	
	0,807	0,8115	17,90	0,7981	0,8019	15,12	0,8017	0,8072	21,88	0,8003	0,8041	15,12	
<b>Soma</b>	2,4037	2,4169	<b>52,52</b>	2,4117	2,4222	<b>41,78</b>	2,3886	2,4044	<b>62,87</b>	2,3904	2,4013	<b>43,37</b>	
<b>Média</b>			17,51			13,93			20,96			14,46	
40	0,7918	0,7944	10,35	0,7749	0,7778	11,54	0,7883	0,7923	15,92	0,7942	0,7997	21,88	
	0,7919	0,7941	8,75	0,7885	0,7916	12,33	0,7707	0,7733	10,35	0,7865	0,7917	20,69	
	0,8058	0,8083	9,95	0,7833	0,787	14,72	0,7829	0,7867	15,12	0,792	0,7973	21,09	
<b>Soma</b>	2,3895	2,3968	<b>29,05</b>	2,3467	2,3564	<b>38,59</b>	2,3419	2,3523	<b>41,38</b>	2,3727	2,3887	<b>63,66</b>	
<b>Média</b>			9,68			12,86			13,79			21,22	
60	0,8002	0,8042	15,92	0,7767	0,7799	12,73	0,7784	0,7834	19,89	0,7885	0,7927	16,71	
	0,7936	0,7966	11,94	0,7845	0,7892	18,70	0,7744	0,7792	19,10	0,7729	0,7794	25,86	
	0,7922	0,7957	13,93	0,7926	0,7967	16,31	0,7656	0,7705	19,50	0,7991	0,8052	24,27	
<b>Soma</b>	2,386	2,3965	<b>41,78</b>	2,3538	2,3658	<b>47,75</b>	2,3184	2,3331	<b>58,49</b>	2,3605	2,3773	<b>66,84</b>	
<b>Média</b>			13,93			15,92			19,50			22,28	
80	0,8015	0,8039	9,55	0,7864	0,7899	13,93	0,7851	0,7922	28,25	0,7691	0,773	15,52	
	0,7979	0,8004	9,95	0,7807	0,7836	11,54	0,7712	0,776	19,10	0,7892	0,7945	21,09	
	0,7944	0,7966	8,75	0,7893	0,7927	13,53	0,7654	0,7723	27,45	0,7978	0,8027	19,50	
<b>Soma</b>	2,3938	2,4009	<b>28,25</b>	2,3564	2,3662	<b>38,99</b>	2,3217	2,3405	<b>74,80</b>	2,3561	2,3702	<b>56,10</b>	
<b>Média</b>			9,42			13,00			24,93			18,70	
<b>Total (soma)</b>	9,573	9,6111	<b>151,59</b>	9,4686	9,5106	<b>167,11</b>	9,3706	9,4303	<b>237,54</b>	9,4797	9,5375	<b>229,98</b>	

Tabela V.D – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando as soluções ácidas na concentração de 200 mL/L com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas.

Análise de ganho de massa - c=200mL/L - 3,00mm															
Ácidos															
Temp. (°C)	HNO <sub>3</sub>			HNO <sub>3</sub> -HCl			HNO <sub>3</sub> -HCl-HF			HNO <sub>3</sub> -HF					
	Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A		(M0)	(M)
25	2,6859	2,695	19,31	2,6864	2,696	20,37	2,7141	2,7248	22,71	2,7669	2,7745	16,13			
	2,7364	2,7481	24,83	2,7904	2,7999	20,16	2,8008	2,8108	21,22	2,7453	2,7512	12,52			
	2,7753	2,7846	19,74	2,7735	2,7832	20,58	2,749	2,7588	20,80	2,7846	2,7945	21,01			
<b>Soma</b>	8,1976	8,2277	<b>63,87</b>	8,2503	8,2791	<b>61,12</b>	8,2639	8,2944	<b>64,72</b>	8,2968	8,3202	<b>49,66</b>			
<b>Média</b>			21,29			20,37			21,57			16,55			
40	2,7853	2,7903	10,61	2,6662	2,6737	15,92	2,7184	2,7277	19,74	2,7728	2,7867	29,50			
	2,7243	2,73	12,10	2,7689	2,777	17,19	2,7422	2,7504	17,40	2,8063	2,8158	20,16			
	2,8298	2,8348	10,61	2,749	2,7573	17,61	2,7563	2,7651	18,67	2,7581	2,7649	14,43			
<b>Soma</b>	8,3394	8,3551	<b>33,32</b>	8,1841	8,208	<b>50,72</b>	8,2169	8,2432	<b>55,81</b>	8,3372	8,3674	<b>64,09</b>			
<b>Média</b>			11,11			16,91			18,60			21,36			
60	2,7331	2,74	14,64	2,7271	2,7364	19,74	2,6898	2,7011	23,98	2,7397	2,7481	17,83			
	2,8143	2,8215	15,28	2,6912	2,698	14,43	2,7189	2,7289	21,22	2,7373	2,7446	15,49			
	2,7883	2,7944	12,94	2,7384	2,7451	14,22	2,7351	2,7475	26,31	2,7075	2,7151	16,13			
<b>Soma</b>	8,3357	8,3559	<b>42,87</b>	8,1567	8,1795	<b>48,38</b>	8,1438	8,1775	<b>71,51</b>	8,1845	8,2078	<b>49,44</b>			
<b>Média</b>			14,29			16,13			23,84			16,48			
80	2,7565	2,7615	10,61	2,6695	2,6764	14,64	2,69	2,7082	38,62	2,7543	2,7622	16,76			
	2,7776	2,7853	16,34	2,729	2,7377	18,46	2,7301	2,7439	29,28	2,7207	2,7283	16,13			
	2,8404	2,8462	12,31	2,7652	2,7731	16,76	2,7551	2,7661	23,34	2,7625	2,7726	21,43			
<b>Soma</b>	8,3745	8,393	<b>39,26</b>	8,1637	8,1872	<b>49,87</b>	8,1752	8,2182	<b>91,25</b>	8,2375	8,2631	<b>54,32</b>			
<b>Média</b>			13,09			16,62			30,42			18,11			
<b>Total (soma)</b>	33,2472	33,3317	<b>179,31</b>	32,7548	32,8538	<b>210,08</b>	32,7998	32,9333	<b>283,30</b>	33,056	33,1585	<b>217,51</b>			

## **Anexo VI**

Neste anexo são apresentadas as tabelas com os pesos das amostras de fios de aço inoxidável ABNT 304L nos diâmetros de 1,60mm e 3,00mm após a decapagem química ( $M_0$ ) na solução decapante  $HNO_3/HCl$  com concentração de 100mL/L, tempo de imersão dos fios de 15 minutos e temperaturas de 25, 40, 60 e 80°C, e após a imersão no lubrificante carreador Dynacote (M). Também são apresentados os valores da diferença de massa normalizados pela área do respectivo fio.

Tabela VI.A – Medidas de massa dos fios de diâmetro 1,60mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando a solução decapante HNO<sub>3</sub>/HCl na concentração de 100mL/L, nas diversas concentrações de HCl com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas.

		Análise de ganho de massa - c=100mL/L - 1,60mm											
		Temperaturas											
Conc.	HCl	25°C			40°C			60°C			80°C		
		Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A
20		0,8043	0,8084	16,31	0,7851	0,7898	18,70	0,7912	0,7968	22,28	0,7874	0,7944	27,85
		0,8036	0,8061	9,95	0,798	0,8036	22,28	0,7795	0,7842	18,70	0,7877	0,7952	29,84
		0,8019	0,8067	19,10	0,8016	0,8076	23,87	0,7958	0,8016	23,08	0,788	0,7948	27,06
<b>Soma</b>		2,4098	2,4212	<b>45,36</b>	2,3847	2,401	<b>64,86</b>	2,3665	2,3826	<b>64,06</b>	2,3631	2,3844	<b>84,75</b>
<b>Média</b>				15,12			21,62			21,35			28,25
25		0,8011	0,8108	38,59	0,7946	0,7982	14,32	0,794	0,7997	22,68	0,7842	0,7893	20,29
		0,808	0,8111	12,33	0,7944	0,7982	15,12	0,7818	0,7866	19,10	0,7888	0,7941	21,09
		0,8028	0,8062	13,53	0,787	0,7915	17,90	0,7855	0,7905	19,89	0,7924	0,796	14,32
<b>Soma</b>		2,4119	2,4281	<b>64,46</b>	2,376	2,3879	<b>47,35</b>	2,3613	2,3768	<b>61,67</b>	2,3654	2,3794	<b>55,70</b>
<b>Média</b>				21,49			15,78			20,56			18,57
30		0,7982	0,8041	23,48	0,7946	0,7983	14,72	0,7846	0,7881	13,93	0,7736	0,7771	13,93
		0,8039	0,807	12,33	0,7935	0,7974	15,52	0,7956	0,799	13,53	0,7817	0,7842	9,95
		0,8056	0,8105	19,50	0,8063	0,8109	18,30	0,8076	0,8114	15,12	0,7871	0,79	11,54
<b>Soma</b>		2,4077	2,4216	<b>55,31</b>	2,3944	2,4066	<b>48,54</b>	2,3878	2,3985	<b>42,57</b>	2,3424	2,3513	<b>35,41</b>
<b>Média</b>				18,44			16,18			14,19			11,80
35		0,7979	0,8016	14,72	0,7948	0,7983	13,93	0,7735	0,7761	10,35	0,7898	0,7944	18,30
		0,8017	0,8049	12,73	0,7847	0,7909	24,67	0,8073	0,811	14,72	0,7856	0,789	13,53
		0,7962	0,8005	17,11	0,7923	0,7959	14,32	0,7928	0,7961	13,13	0,7874	0,7904	11,94
<b>Soma</b>		2,3958	2,407	<b>44,56</b>	2,3718	2,3851	<b>52,92</b>	2,3736	2,3832	<b>38,20</b>	2,3628	2,3738	<b>43,77</b>
<b>Média</b>				14,85			17,64			12,73			14,59
<b>Total (soma)</b>		9,6252	9,6779	<b>209,69</b>	9,5269	9,5806	<b>213,67</b>	9,4892	9,5411	<b>206,50</b>	9,4337	9,4889	<b>219,63</b>

Tabela VI.B – Medidas de massa dos fios de diâmetro 3,00mm antes e após a imersão no lubrificante Dynacote, utilizando a solução decapante HNO<sub>3</sub>/HCl na concentração de 100mL/L, nas diversas concentrações de HCl com o tempo de imersão de 15 minutos nas diversas temperaturas.

		Análise de ganho de massa - c=100mL/L - 3,00mm											
		Temperaturas											
Conc.	HCl	25°C			40°C			60°C			80°C		
		Antes (M0)	Após (M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A	(M0)	(M)	(M-M0)/A
	20	2,7468	2,7553	18,04	2,7797	2,7908	23,55	2,7619	2,7722	21,86	2,756	2,7691	27,80
		2,8171	2,824	14,64	2,7921	2,8058	29,07	2,7907	2,8011	22,07	2,8802	2,8916	24,19
		2,7807	2,7894	18,46	2,8747	2,889	30,35	2,7794	2,7897	21,86	2,8116	2,8229	23,98
	<b>Soma</b>	8,3446	8,3687	<b>51,14</b>	8,4465	8,4856	<b>82,97</b>	8,332	8,363	<b>65,78</b>	8,4478	8,4836	<b>75,97</b>
	<b>Média</b>			17,05			27,66			21,93			25,32
	25	2,8046	2,8285	50,72	2,7474	2,7565	19,31	2,7406	2,7496	19,10	2,7834	2,7915	17,19
		2,7776	2,784	13,58	2,8152	2,8243	19,31	2,7363	2,7433	14,85	2,7653	2,7717	13,58
		2,7721	2,7798	16,34	2,7772	2,7855	17,61	2,7502	2,7601	21,01	2,7737	2,7819	17,40
	<b>Soma</b>	8,3543	8,3923	<b>80,64</b>	8,3398	8,3663	<b>56,23</b>	8,2271	8,253	<b>54,96</b>	8,3224	8,3451	<b>48,17</b>
	<b>Média</b>			26,88			18,74			18,32			16,06
	30	2,7651	2,7752	21,43	2,7309	2,7383	15,70	2,7688	2,7784	20,37	2,7463	2,7526	13,37
		2,8379	2,8453	15,70	2,7544	2,7639	20,16	2,7675	2,7771	20,37	2,7411	2,7503	19,52
		2,772	2,7816	20,37	2,7763	2,7847	17,83	2,799	2,8072	17,40	2,7918	2,7977	12,52
	<b>Soma</b>	8,375	8,4021	<b>57,51</b>	8,2616	8,2869	<b>53,69</b>	8,3353	8,3627	<b>58,14</b>	8,2792	8,3006	<b>45,41</b>
	<b>Média</b>			19,17			17,90			19,38			15,14
	35	2,7976	2,8067	19,31	2,8051	2,8111	12,73	2,7826	2,7898	15,28	2,7462	2,7536	15,70
		2,7924	2,7997	15,49	2,7758	2,7848	19,10	2,7921	2,7987	14,01	2,7631	2,7708	16,34
		2,8065	2,8166	21,43	2,8292	2,8381	18,89	2,785	2,7926	16,13	2,7756	2,7828	15,28
	<b>Soma</b>	8,3965	8,423	<b>56,23</b>	8,4101	8,434	<b>50,72</b>	8,3597	8,3811	<b>45,41</b>	8,2849	8,3072	<b>47,32</b>
	<b>Média</b>			18,74			16,91			15,14			15,77
	<b>Total (soma)</b>	33,4704	33,5861	<b>245,52</b>	33,458	33,5728	<b>243,61</b>	33,2541	33,3598	<b>224,30</b>	33,3343	33,4365	<b>216,87</b>