

# *Monografia de Graduação*

## **Influência da textura superficial no comportamento aerodinâmico em elementos estruturais cilíndricos**

**Rodrigo Márcio da Silva**

**Natal, fevereiro de 2009**

**SILVA, Rodrigo Márcio** –. Monografia, UFRN, Departamento de Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos – PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Engenharia de Petróleo e Engenharia Mecânica, Natal/RN, Brasil.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes

---

**RESUMO:**

Estruturas metálicas como torres de transmissão, plataformas marítimas, antenas de rádio e TV e outras, compostas por elementos cilíndricos, são susceptíveis a esforços/vibrações induzidos pelo deslocamento de massas fluidas de ar escoando sobre as mesmas. Estas forças aerodinâmicas provocam arrasto, forças laterais e momentos, que podem induzir deformações, instabilidade ou até mesmo a queda destas estruturas. Daí, objetivando verificar qual o melhor acabamento superficial para otimização da resistência a ação do vento, segundo o coeficiente de arrasto, em elementos estruturais cilíndricos, foram realizados estudos teóricos e práticos utilizando um túnel aerodinâmico com área da secção transversal do jato de vento de  $(0.25\text{m}^2)$  e comprimento 3.75m, com máxima velocidade de aproximadamente 4m/s, assim como três modelos cilíndricos de 15cm de diâmetro x 30cm de comprimento com diferentes acabamentos superficiais. O coeficiente de arrasto, a distribuição das pressões, o descolamento da camada-limite, assim como outras propriedades associadas, foram obtidas através da medição da velocidade do ar, com a utilização do Tubo de Pitot, e da aplicação adequada das equações de conservação da massa e quantidade de movimento linear, em conjunto com premissas simplificadoras apropriadas através do Método de Jones. Tendo sido, então, evidenciadas conclusões a partir dos resultados obtidos.

**Palavras Chaves:**

- Acabamento superficial; Coeficiente de arrasto;

## **ABSTRACT**

### **Influence of surface texture the aerodynamic behavior in cylindrical structural elements**

Metal structures such as transmission towers, marine platforms, satellite radio and TV and others, consist of cylindrical elements, are likely to work / vibration caused by displacement of masses of air draining fluid on them. These forces cause aerodynamic drag, lateral forces and moments, which can cause deformation, instability or even the collapse of these structures. Hence, to determine the best surface for optimization of the resistance to action of wind, according to the drag coefficient on cylindrical structural elements, were studied using a theoretical and practical aerodynamic tunnel with cross section area of the jet of wind from ( 0.25m<sup>2</sup>) and 3.75m length, with maximum speed of around 4m / s, and three models of cylindrical 15cm diameter x 30cm in length with different surface finishes. The drag coefficient, the distribution of pressure, the displacement of the boundary layer as well as other associated properties, were obtained by measuring the velocity of the air, using the Pitot tube, and the appropriate application of the equations of conservation of mass and linear momentum, together with simplifying assumptions appropriate method by Jones. Was then highlighted conclusions from results.

Esta monografia é dedicada:

A Deus, por ter me proporcionado a oportunidade de realizar e concluir este trabalho.

Aos meus pais Francisco e Iêda e ao meu irmão Júnior, que estão sempre do meu lado em todos os momentos da minha vida.

E ao meu orientador e amigo professor José Ubiragi de Lima Mendes.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor José Ubiragi de Lima Mendes o meu agradecimento pela amizade, orientação e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Luiz Pedro de Araújo e meus grandes amigos companheiros de bolsa Dabney, Felipe Mello, Hallyjus e Marcelo Tanaka.

Aos coordenadores do PRH-ANP 14: Afonso Avelino Dantas Neto, Osvaldo Chiavone Filho, pela oportunidade concedida no programa, e ao professor Romualdo Dantas Vidal.

À Agência Nacional de Petróleo – ANP, por incentivar os estudos na área de Petróleo e Gás Natural.

Aos amigos de graduação, que durante cinco anos se fizeram presentes nos estudos.

## Índice

Capítulo I.....	8
1 – Introdução.....	9
Capítulo II.....	10
2– Aspectos Teóricos e Revisão Bibliográfica.....	11
2.1 – Força e coeficiente de Arrasto.....	11
2.2 – Coeficiente de Pressão (CP).....	13
2.3 – Medição de Velocidade com Tubo de Pitot.....	14
2.4 - Efeito da Rugosidade Superficial no Arrasto de Esfera e Cilindros.....	16
2.5 – Método de Jones.....	17
Capítulo III.....	19
3.1 – Metodologia Experimental.....	20
Capítulo IV.....	22
4.1. Resultados e Discussão.....	23
Capítulo V.....	28
5 – Conclusões.....	29
Capítulo VI.....	30
6 – Bibliografia.....	31
Anexo I.....	32
RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO.....	33

## Lista de Figuras

Figura 1 - Representação do escoamento em torno do cilindro e suas referências.....	11
Figura 2 - Coeficiente de Arrasto em função do número de Reynolds.....	13
Figura 3 - Coeficiente de Pressão em função do ângulo.....	14
Figura 4. Tubo de Pitot Estático.....	15
Figura 5 - Representação de um tubo de Pitot estático inserido no escoamento.....	15
Figura 6 - Efeito de rugosidade no coeficiente de arrasto em esferas.....	17
Figura 7 - corpos de prova, e faixa de rugosidade de acordo com os processos de usinagem.....	20
Figura 8 - Realização dos ensaios no túnel de vento.....	21
Figura 9 - Resultado das Medições de pressão no final da esteira.....	23
Figura 10 - Faixa de valores analisados que comprovam a validade do ensaio.....	24
Figura 11 - Tunel de vento utilizado nos ensaios.....	24
Figura 12- Cálculo de valores no regime sub-crítico, valor inferior no regime crítico e valor inferior no super-crítico.....	25
Figura 13- Gráfico representativo das mudanças do coeficiente de arrasto em função do número de Reynolds para variados acabamentos.....	25

---

---

## Capítulo I

### INTRODUÇÃO

---

---

# 1 - Introdução

Estruturas metálicas como torres de transmissão, plataformas marítimas, antenas de rádio e TV e outras, compostas por elementos cilíndricos, são susceptíveis a esforços/vibrações induzidos pelo deslocamento de massas fluidas de ar escoando sobre as mesmas. Estas forças aerodinâmicas provocam arrasto, forças laterais e momentos, que podem induzir deformações, instabilidade ou até mesmo a queda destas estruturas.

O fenômeno de desprendimento cadenciado de vórtices tem sido estudado extensivamente ao longo dos anos em cilindros rígidos e fixos dispostos horizontalmente sob escoamento laminar e uniforme. Nestas condições, o desprendimento de vórtices se daria numa mesma frequência e intensidade caracterizando um escoamento bidimensional. No entanto, no caso real, surgem efeitos tridimensionais que alteram essa formação de vórtices. Um dos parâmetros utilizados e pesquisados é o coeficiente de arrasto e sabe-se que a rugosidade na superfície no cilindro modifica o coeficiente de arrasto.

Este projeto tem por objetivos medir experimentalmente o coeficiente de arrasto para diferentes rugosidades, estudar a influência da textura superficial no comportamento aerodinâmico, verificar qual o melhor acabamento superficial para otimização da resistência a ação do vento, segundo o coeficiente de arrasto, em elementos estruturais cilíndricos (determinar faixa crítica) e plotar gráfico coeficiente de arrasto x  $Re$  variando a rugosidade.

O estudo da influência do acabamento superficial é importante para o dimensionamento de estruturas metálicas, um melhor dimensionamento e conseqüentemente uma economia maior. Para estruturas que utilizam coeficiente de segurança baixo e/ou que possuem escalonamentos, cantos vivos, seu estudo é importante. A metodologia utilizada para os experimentos pode ser utilizados em diferentes geometrias e em diferentes aplicações.

---

---

## **Capítulo II**

### **ASPECTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

---

## 2. Aspectos Teóricos e Revisão Bibliográfica

### 2.1 Força e coeficiente de arrasto

Para um corpo imerso em um fluido, onde há movimento relativo entre ambos, surge uma força resultante desta interação. É usual expressar esta força em função de duas componentes, chamadas de Força de Arrasto ( $D$  ou  $FD$ ) e de Força de Sustentação ( $L$  ou  $FL$ ), que possuem respectivamente direção paralela à da velocidade do fluido ao longe (Força de Arrasto) e direção perpendicular à da velocidade ao longe (Força de Sustentação). Mesmo sendo o cilindro estudado tridimensional, adota-se nesta análise uma simplificação, fazendo-a bidimensional, conforme apresenta-se na figura 1 a seguir.

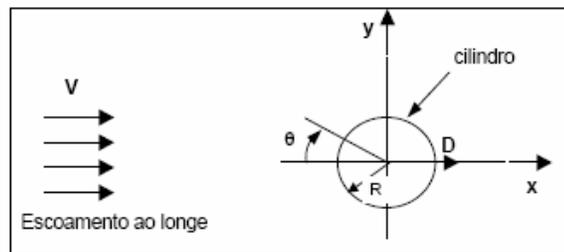


Figura 1: Representação do escoamento em torno do cilindro e suas referências

Uma consequência desta análise bidimensional é considerar estas forças por unidade de comprimento, que no caso do cilindro será por unidade de altura ( $b$ ). Em termos gerais, a interação fluido-corpo, é descrita por forças de superfície (contato) associadas às tensões tangenciais (cisalhamento) e às tensões normais, que se identificam com a distribuição de pressões sobre a mesma. A integração da distribuição das tensões de cisalhamento e das pressões somadas, resultarão na Força Resultante ( $\mathbf{F}$ ), com componentes de arrasto ( $\mathbf{D}$ ) e de sustentação ( $\mathbf{L}$ ). Nesta experiência serão desprezadas as contribuições das tensões tangenciais (atrito viscoso) e será feita a integração das pressões. Assim:

$$\vec{F} = -\int_A p \cdot \vec{n} \cdot dA$$

A simetria do cilindro e das respectivas componentes da força resultante da distribuição das pressões na direção  $y$ , direção em que está orientada a sustentação, indica que neste caso é provável obter-se componente da força de sustentação igual a

zero ( $\mathbf{L} = 0$ ). Assim, o foco deste estudo dirige-se para a força de arrasto ( $\mathbf{D}$ ), que está na direção  $\mathbf{x}$ , e é dada por:

$$D = \int_A p \cdot \cos \theta \cdot dA$$

Tomando por unidade de altura ( $b$ ) do cilindro, tem-se:

$$\frac{D}{b} = \int_0^{2\pi} p \cdot \cos \theta \cdot R \cdot d\theta$$

onde  $\mathbf{R}$  é o raio do cilindro e  $\theta$  é o ângulo tomado em relação à direção  $\mathbf{x}$ .

A integração da equação anterior pode ser realizada de modo discreto tomando-se a somatória das contribuições da pressão sobre áreas definidas por intervalos angulares  $\Delta\theta$ , variando-se  $\theta$  apenas de  $0$  a  $\pi$ , e multiplicando-se por dois. Isto porque está considerada a simetria do fenômeno em relação ao eixo  $\mathbf{x}$ .

$$\frac{D}{b} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n p_i \cdot \cos \theta_i \cdot R \cdot \Delta\theta = 2 \cdot R \cdot \Delta\theta \cdot \sum_{i=1}^n p_i \cdot \cos \theta_i$$

Mas a força de arrasto, também pode ser determinada pela relação que utiliza o Coeficiente de Arrasto ( $\mathbf{CD}$ ):

$$D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_{Ref} = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot D \cdot b$$

O Coeficiente de Arrasto ( $\mathbf{CD}$ ) pode ser determinado experimentalmente e é usual apresentar seus valores graficamente em função de outro parâmetro adimensional, o número de Reynolds ( $Re$ ), que representa as condições do escoamento, conforme pode ser visto na figura 2.

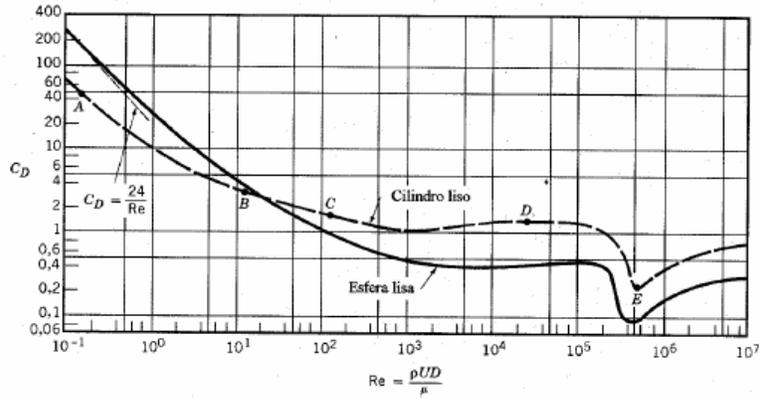


Figura 2: Coeficiente de Arrasto em função do número de Reynolds. (Munson, et al. 2004)

## 2.2 Coeficiente de pressão (CP):

A distribuição de pressões sobre a superfície do cilindro pode ser expressa através de

um parâmetro identificado como Coeficiente de Pressão (**CP**) e dado pela expressão:

$$C_P = \frac{p - p_o}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2}$$

na qual:

- $p = p(\theta)$  é a pressão em cada ponto na superfície do cilindro
- $p_o$  é uma pressão de referência (em geral adotada como a pressão estática no escoamento ao longe)

Este coeficiente de pressão também pode ser associado à força de arrasto (**DP**) e ao

coeficiente de arrasto (**CDp**) relativos à pressão:

$$D_P = \int_A p \cdot \cos \theta \cdot dA = C_{Dp} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A$$

$$C_{Dp} = \frac{\int_A p \cdot \cos \theta \cdot dA}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A} = \frac{\int C_P \cdot \cos \theta \cdot dA}{A} = \frac{D_P}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A}$$

Valores para o Coeficiente de Pressão (**CP**) em função  $\theta$  de são obtidos a partir de resultados experimentais para diferentes condições de escoamento, usualmente caracterizadas pelo número de Reynolds (**Re**), conforme apresenta a figura 3 a seguir.

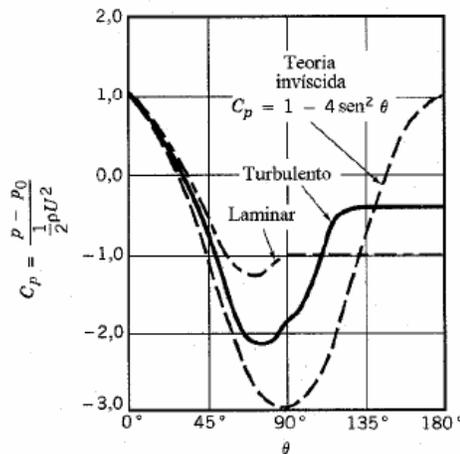


Figura 3: Coeficiente de Pressão em função do ângulo (Mumson, et al. 2004)

Nela está apresentada, também, o comportamento de **CP** determinado teoricamente considerando escoamento de fluido não viscoso.

### 2.3 Medição de velocidade com Tubo de Pitot Estático:

O Tubo de Pitot é um instrumento desenvolvido para medir a velocidade de um fluido em um ponto do campo de escoamento (velocidade local), a partir de um valor de diferenças de pressão. O modelo utilizado nesta experiência é denominado Tubo de Pitot Estático. Ele possibilita medições da pressão total e da pressão estática associadas à linha de escoamento que está alinhada à si próprio, no ponto onde é inserido. A pressão total é sentida por um orifício frontal conectado a um pequeno tubo interno ao Pitot, que transmite esta pressão até o terminal de saída que será conectado à um manômetro. A pressão estática, neste caso, é sentida por um conjunto de orifícios localizados ao redor do seu corpo (veja corte na seção A-A da figura 4), e é transmitida pela região anular entre o tubo interno da pressão total e tubo externo do Pitot. Na figura 4, está apresentado um modelo de Pitot estático, similar ao que será utilizado na medição de velocidades no túnel de vento do laboratório. Este modelo é adotado pela

AMCA – Air Movement and Control Association, Inc., para a realização de medições em sistemas de movimentação de ar.

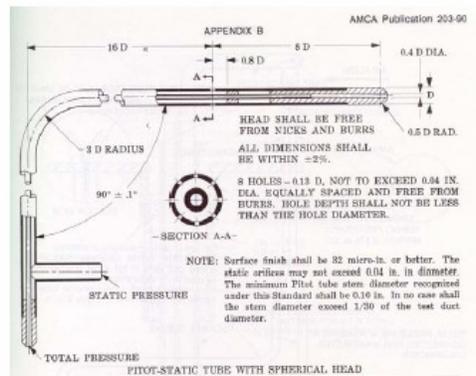


Figura 4: Tubo de Pitot Estático (AMCA 203-1990 – Apêndice B)

A equação utilizada para o cálculo da velocidade é determinada pela aplicação da Equação de Bernoulli entre dois pontos próximos de uma mesma linha de corrente (LC), conforme apresentado na figura 5.

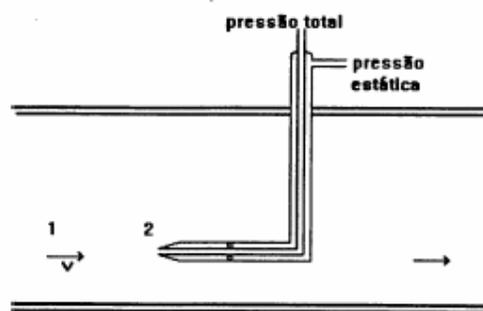


Figura 5: Representação de um tubo de Pitot estático inserido no escoamento

Em termo de pressão, a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2 é:

$$\frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 = \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2$$

Ao posicionar-se o Tubo de Pitot Estático alinhado com uma LC provoca-se uma desaceleração do fluido entre os pontos 1 e 2, admitida isoentrópica (sem perdas), de modo que:

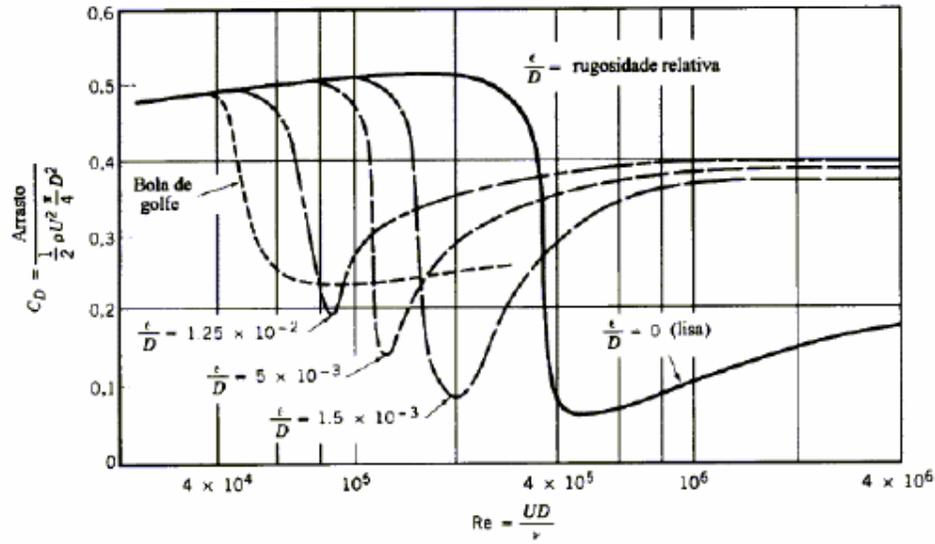
- $v_1$  é a velocidade do fluido em posição distante do Pitot (a ser determinada)
- $v_1$  é a velocidade do fluido no orifício frontal do Pitot (admitida zero)
- $p_1$  é a pressão estática associada à LC que possui velocidade  $v_1$
- $p_2$  é a pressão total (ou de estagnação) medida no orifício frontal do Pitot
- $z_1 = z_2$

Logo:

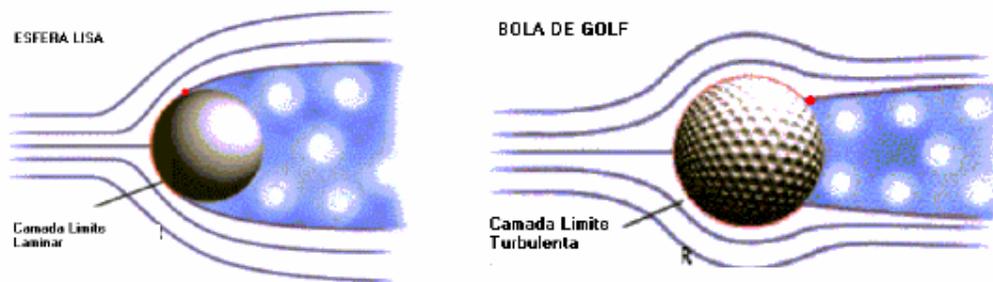
$$v_1 = \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}} \quad \text{ou} \quad v = v_1 = \sqrt{\frac{2(p_{\text{total}} - p_{\text{estática}})}{\rho}}$$

## 2.4 - Efeito da Rugosidade Superficial no Arrasto de Esferas e Cilindros

Geralmente o arrasto aumenta com o aumento da rugosidade superficial nos corpos delgados como os perfis aerodinâmicos. Isto se deve a que o escoamento se torna turbulento. Nesta condições a maior contribuição para o arrasto total se deve ao arrasto por atrito ( $CD_f$ ) que é muito maior no escoamento turbulento que no escoamento laminar. Por outro lado, como se observa na figura abaixo, nos corpos rombudos, como um cilindro circular ou esferas, o aumento da rugosidade superficial pode causar uma diminuição do arrasto total. Para uma esfera lisa quando o  $Re$  atinge o valor crítico ( $Re_{3 \times 10^5}$ ), a camada limite se torna turbulenta. Nesta condição a esteira atrás da esfera fica mais estreita. Isto origina uma diminuição significativa do arrasto por pressão ( $CD_p$ ) e um leve aumento do arrasto por atrito ( $CD_f$ ). A combinação desta duas parcelas de arrasto ( $CD_p + CD_f$ ) fornece um arrasto total menor que nas condições de escoamento laminar. O aumento da rugosidade superficial pode conseguir que a camada limite se torne turbulenta para um  $Re$  mais baixo e com isto conseguir um arrasto total menor. Esta é, por exemplo, a técnica utilizada nas bolas de golfe que apresentam uma rugosidade artificial exagerada para conseguir um escoamento turbulento com menor  $Re$  ( $4 \times 10^4$ ) e diminuir assim o arrasto. Desta forma com uma tacada a bola pode alcançar maiores distâncias percorridas comparadas com o caso de uma esfera lisa.



Efeito da rugosidade no coeficiente de arrasto em esferas lisas



Diferença do escoamento de uma esfera lisa e uma bola de golfe.

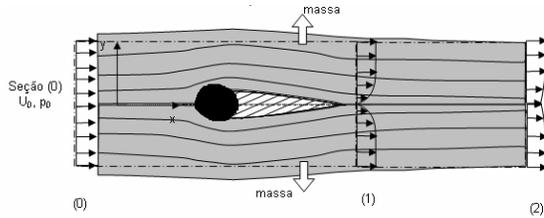
Figura 6: Efeito de rugosidade no coeficiente de arrasto em esferas

## 2.5 – Método de Jones:

Para nosso experimento a força de arrasto é dada por:

$$D = 2b \cdot \int_{-y_0}^{+y_0} \sqrt{H_1 - P_1} \cdot (\sqrt{H_0 - P_0} - \sqrt{H_1 - P_0}) dy_1$$

O método de Jones, é um método matemático que através dele é possível saber o coeficiente de arrasto experimental sem a necessidade de resolução do cálculo dessa expressão complexa anterior.



Para diferentes posições ao longo do eixo y, deverão ser determinadas as diferenças de pressão indicadas na equação. Depois será calculado o integrando da equação para cada ponto de medida. Teremos assim um conjunto de n pares de valores [i,(y/c)] onde i é dado pela equação):

$$i = 2 \sqrt{\frac{H_1 - P_1}{H_0 - P_0}} \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{H_1 - P_0}{H_0 - P_0}} \right) \quad (I)$$

Como as medições ao longo do eixo y serão discretas, deverá ser utilizado um procedimento de integração numérica, como a fórmula de Simpson:

$$\text{Integral} = \frac{1}{3} \frac{\Delta y}{c} \left[ i_0 + 4i_1 + 2i_2 + 4i_3 + 2i_4 + \dots \right. \\ \left. + 2i_{n-4} + 4i_{n-3} + 2i_{n-2} + 4i_{n-1} + i_n \right]$$

onde  $\Delta y$  equivale ao passo, no caso  $\Delta y = 3 \text{ mm}$ ,  $i_k$  é o valor do integrando da Eq. (I) para o ponto de posição  $y_k$  na seção (1) do túnel. Para nosso caso a varredura foi feita de 0 a 120 mm, onde o cilindro posiciona-se no centro dessas coordenadas no eixo y, garantindo que toda região da esteira seja varrida.

---

---

## **Capítulo III**

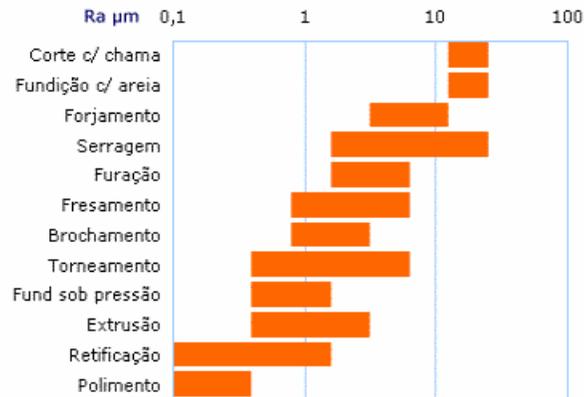
### **METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

---

---

### 3. Metodologia Experimental

1. Corpos de prova com rugosidades diferentes foram confeccionados, utilizando como processo de fabricação, o torneamento.



*Figura 7: corpos de prova, e faixa de rugosidade de acordo com os processos de usinagem*

2. Medição das diferenças de pressão ao longo escoamento foram efetuadas logo após a esteira, a coordenada do final da esteira foi verificada através de simulação através do software (para o cálculo do coeficiente de arrasto experimental utilizando o método de Jones).
3. Os ensaios foram efetuados em um túnel aerodinâmico com área da secção transversal do jato de vento de (0.50m X 0.50m) e comprimento 3.75m, máxima velocidade de 6m/s, obtida usando um motor elétrico monofásico de potência máxima de 5HP (3.7kW).



*Figura 8: Realização dos ensaios no túnel de vento*

3. Cálculo do coeficiente de arrasto através do método de Jones apresentado anteriormente na revisão bibliográfica.

---

---

## Capítulo IV

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

---

## 4. Resultados e Discussão

Os ensaios foram feitos, com os dois corpos de prova com rugosidades distintas, e através dos resultados verificados (Fig.9), foi possível calcular o coeficiente de arrasto de ambos:

CILINDRO LIXADO						CILINDRO "CRU"						
ALTURA	PRESSÃO [Kpa]			MÉDIA	VELOCIDADE	ALTURA	PRESSÃO [Kpa]			VELOCIDADE		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3				Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3			
0	0,0176	0,023	0,0188	0,0198	5,744562647	(0,1003)	0,015	0,0148	0,019	0,016267	5,20683317	0,0954
3	0,0168	0,0206	0,0196	0,019	5,627314339	(0,0272)	0,018	0,0155	0,0129	0,015467	5,077182071	0,1566
6	0,0156	0,0197	0,0169	0,0174	5,385164807	0,0854	0,0143	0,0135	0,0147	0,014167	4,859126579	0,2379
9	0,0194	0,0173	0,0191	0,0186	5,567764363	0,1160	0,0133	0,0152	0,014	0,014167	4,859126579	0,2968
12	0,0185	0,0137	0,0189	0,017033	5,328122454	0,0886	0,0135	0,0151	0,0144	0,014333	4,8876261	0,2192
15	0,0171	0,0197	0,0203	0,019033	5,632248416	0,0717	0,012	0,017	0,0164	0,015133	5,022173058	0,2430
18	0,0143	0,0129	0,0208	0,016	5,163977795	0,1744	0,0145	0,0124	0,012	0,0127	4,600724581	0,3140
21	0,0184	0,013	0,0127	0,0147	4,949747468	0,2477	0,012	0,0159	0,0102	0,012433	4,552166761	0,3358
24	0,0164	0,0125	0,0142	0,014367	4,893306085	0,2494	0,0142	0,0143	0,0116	0,013367	4,719934086	0,2904
27	0,0097	0,0126	0,0147	0,012333	4,533823503	0,3296	0,0099	0,0121	0,012	0,011067	4,234639576	0,3749
30	0,0116	0,01	0,0137	0,011767	4,428443419	0,3567	0,0092	0,0131	0,012	0,011167	4,314059702	0,3772
33	0,009	0,0102	0,0093	0,0095	3,97912129	0,4297	0,0117	0,0086	0,018	0,0107	4,222953153	0,3946
36	0,0088	0,0121	0,0119	0,010933	4,268749492	0,4110	0,0082	0,01	0,0113	0,009833	4,048319267	0,4393
39	0,0138	0,0094	0,0139	0,012367	4,539946157	0,3730	0,0091	0,0094	0,0068	0,008433	3,74907396	0,4707
42	0,009	0,0078	0,0129	0,0099	4,062019202	0,4038	0,0079	0,0086	0,0099	0,0088	3,829708431	0,4365
45	0,0101	0,0093	0,0089	0,009433	3,965125751	0,4249	0,0083	0,0089	0,0069	0,008033	3,658083067	0,4607
48	0,0086	0,0086	0,0107	0,0093	3,937003937	0,4232	0,0114	0,0078	0,0067	0,008633	3,793268892	0,4418
51	0,0065	0,0092	0,0094	0,008367	3,734226084	0,4617	0,0079	0,0095	0,0077	0,008367	3,734226084	0,4617
54	0,0094	0,0106	0,0094	0,0098	4,041451884	0,4485	0,0092	0,0076	0,0082	0,008333	3,726779962	0,4762
57	0,0064	0,0065	0,0101	0,007667	3,574601765	0,4783	0,0074	0,0066	0,0094	0,007467	3,527688415	0,4815
60	0,0078	0,0107	0,007	0,0085	3,763963264	0,4595	0,0086	0,0052	0,0064	0,006733	3,34995854	0,4897
63	0,0077	0,0088	0,0084	0,0083	3,719318934	0,4626	0,0075	0,0069	0,0055	0,006633	3,324989557	0,4904
66	0,0081	0,0092	0,01	0,0091	3,894440482	0,4402	0,0069	0,0058	0,0072	0,006633	3,324989557	0,4889
69	0,008	0,0084	0,007	0,0078	3,60551275	0,4685	0,007	0,0064	0,006	0,006467	3,282952601	0,4903
72	0,0078	0,0092	0,0095	0,008933	3,836954811	0,4552	0,0086	0,0069	0,0067	0,0074	3,518184584	0,4821
75	0,008	0,0073	0,0086	0,007967	3,643868518	0,4774	0,0081	0,0057	0,0058	0,006533	3,29931646	0,4952
78	0,0078	0,0117	0,0089	0,009467	3,972125096	0,4532	0,0105	0,0071	0,0066	0,008067	3,666666667	0,4789
81	0,0102	0,0065	0,0091	0,0086	3,785938897	0,4720	0,0089	0,0074	0,009	0,008433	3,74907396	0,4748
84	0,0104	0,0073	0,0086	0,008767	3,822448314	0,4648	0,0076	0,0091	0,0072	0,007967	3,643868518	0,4787
87	0,0122	0,011	0,0113	0,0115	4,377975179	0,3961	0,0091	0,0088	0,0084	0,008767	3,822448314	0,4632
90	0,0112	0,0109	0,0114	0,011167	4,314059702	0,3944	0,0097	0,0084	0,0125	0,0102	4,123105626	0,4220
93	0,0113	0,0104	0,0122	0,0113	4,339738895	0,3925	0,011	0,0109	0,0132	0,0117	4,418880433	0,3803
96	0,0135	0,0141	0,013	0,013533	4,74926895	0,3235	0,0126	0,0116	0,0131	0,012433	4,552166761	0,3606
99	0,0125	0,0143	0,0163	0,014367	4,893306085	0,3032	0,0108	0,0118	0,011	0,0112	4,320493799	0,4046
102	0,0126	0,0114	0,012	0,012	4,472135955	0,3449	0,0129	0,012	0,0111	0,012	4,472135955	0,3449
105	0,0132	0,0127	0,0164	0,0141	4,847679857	0,3080	0,0125	0,0126	0,0115	0,0122	4,509249753	0,3717
108	0,0157	0,0148	0,0182	0,016233	5,201495511	0,2060	0,0151	0,0151	0,013	0,0144	4,898979486	0,2795
111	0,0168	0,0199	0,0181	0,018267	5,517648452	0,1178	0,0126	0,0144	0,0148	0,013933	4,818944098	0,2972
114	0,0223	0,0169	0,0225	0,020567	5,85472269	0,1028	0,0157	0,0139	0,0139	0,0145	4,818944098	0,3271
117	0,0225	0,0139	0,0181	0,018167	5,502524673	0,1886	0,0193	0,0169	0,0145	0,0169	5,307227776	0,2367
120	0,0197	0,0188	0,0215	0,02	5,773502692	0,1495	0,0172	0,0172	0,0158	0,016733	5,280993173	0,2684
					Coef. Arrasto	<b>0,6060</b>					Coef. Arrasto	<b>0,7338</b>

Figura 9: Resultado das Medições de pressão no final da esteira

Os ensaios foram feitos no regime turbulento, o cilindro lixado obteve um coeficiente de arrasto de 0.60 e o cilindro “cru” obteve um coeficiente de arrasto de 0,7338 (para o número de Reynolds  $4 \times 10^5$ ). Diferentes rugosidades serão testadas submetidas a várias velocidades tanto no regime laminar quanto no regime turbulento com o objetivo de Plotar gráfico do coeficiente de arrasto x número de Reynolds, variando a rugosidade. E que seja possível lançar uma determinada faixa crítica de rugosidade que tenha comportamento satisfatório tanto no regime laminar como no regime turbulento.

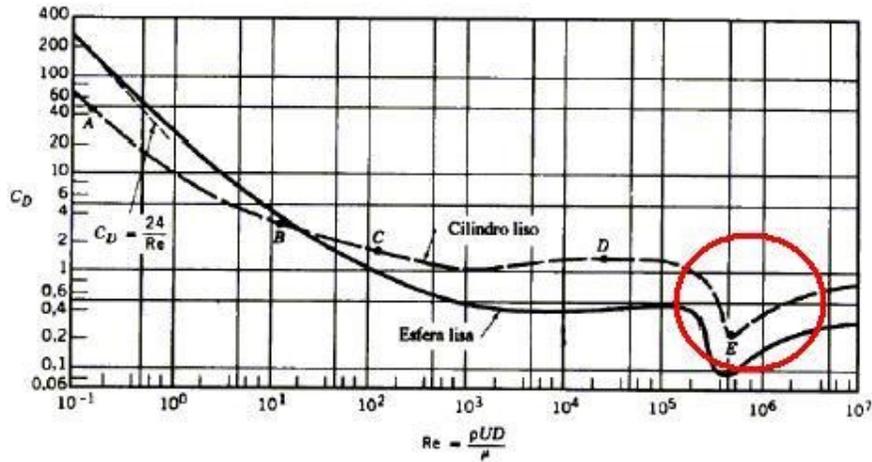


Figura 10: Faixa de valores analisados que comprovam a validade do ensaio

Depois dos primeiros ensaios foram confeccionados novos corpos de prova; a rugosidade dos novos corpos de prova foi obtida através de processos convencionais de fabricação, mas variando suas características com o intuito de se obter variados acabamentos superficiais. Nos próximos ensaios um variador de frequência será instalado com o intuito de obter rotações diferentes e conseqüentemente velocidades diferentes, ou seja, um gama de números de Reynolds.



Figura 11: Túnel de vento utilizado nos ensaios

Dez ensaios foram feitos (Fig.11), confirmando os resultados anteriormente apresentados. Uma nova maneira de cálculo para se plotar as curvas de rugosidade foi pesquisada como mostra a tabela abaixo (Fig.12), para cada curva de rugosidade foi pego pontos crítico para que fosse plotada a curva.

Microsoft Excel - Cálculo de Coeficiente de Arrasto.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda Digite uma pergunta

Arial 10 N I S

Responder com alterações... Finalizar revisão...

O45 fx

1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N	O
1	X - Rugosidade (m)	(k/D)	Re <sub>x</sub>	Re <sub>y</sub>	Re <sub>z</sub>	logRe <sub>x</sub>	logRe <sub>y</sub>	logRe <sub>z</sub>	Cd1	Cd2	Cd3		
2	0.000001	0.000001	5.399999663	5.890163628	6.572401969	251188.4482	758863.4362	373954.423	1.17	0.251246883	0.560047036		
3	0.000002	3.33333E-05	5.399998939	5.842399437	6.519860086	251180.5105	695663.8516	3310244.603	1.17	0.291570611	0.596069746		
4	0.000003	0.00005	5.399978354	5.834843229	6.509347102	251176.1235	683664.8147	3231075.465	1.17	0.301500371	0.604940332		
5	0.000004	6.66667E-05	5.399970602	5.828888196	6.501061838	251171.6402	674354.401	3170018.803	1.17	0.309684781	0.612251738		
6	0.000005	8.33333E-05	5.399962723	5.823896797	6.494117283	251167.0838	666648.3328	3119731.968	1.17	0.31677599	0.618586951		
7	0.000006	0.0001	5.399954743	5.819595945	6.488082845	251162.4685	660023.7222	3076683.661	1.17	0.323102369	0.624238116		
8	0.000007	0.00016667	5.399946676	5.815700159	6.482713265	251157.8034	654184.3637	3038878.001	1.17	0.328956259	0.629378258		
9	0.000008	0.000133333	5.399938535	5.812207653	6.477854125	251153.0955	648944.6444	3005066.765	1.17	0.334161552	0.634117653		
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													

Figura 12: Cálculo de valores no regime sub-crítico, valor inferior no regime crítico e valor inferior no super-crítico.

Através de simulações que demonstram o comportamento do coeficiente de arrasto foi possível plotar as curvas (Fig.13) e perceber que a variação média do coeficiente de arrasto em função dos processos mecânicos convencionais:

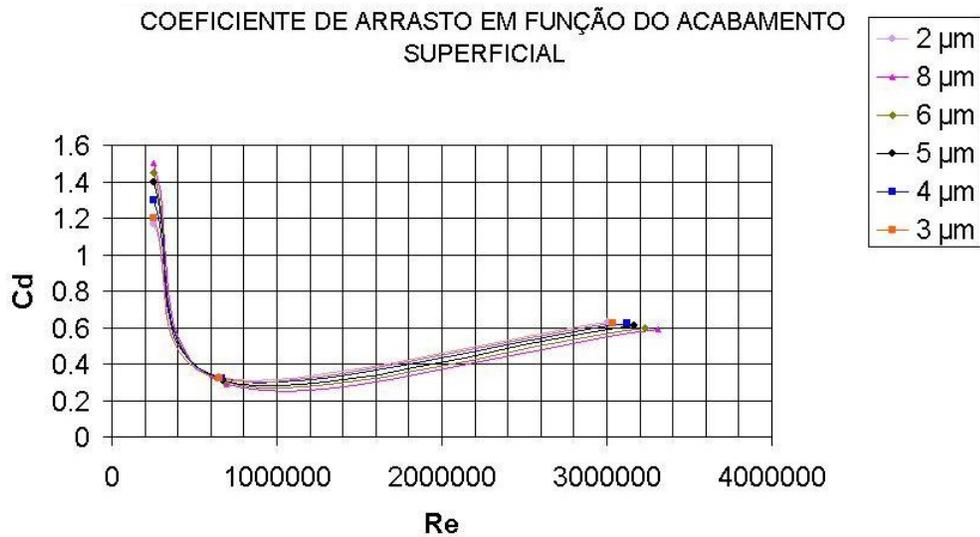


Figura 13: Gráfico representativo das mudanças do coeficiente de arrasto em função do número de Reynolds para variados acabamentos.

Como mostra o gráfico acima, a diferença de rugosidade de 8 µm provoca uma mudança média de 0.1 de coeficiente de arrasto, essa diferença pode ser desprezada, ou seja, para processos convencionais de usinagem podemos adotar o mesmo coeficiente de arrasto. Futuros testes com rugosidades bem elevadas em relação aos processos anteriormente descritos serão realizados.

Os resultados analisados são bem satisfatórios visto que, os valores no regime sub-crítico, valor inferior no regime crítico e valor inferior no super-crítico são bem semelhantes ao valores demonstrados pelos gráficos utilizados na literatura, as expressões utilizadas são as seguintes:

$$\begin{aligned}
 C_{D2} &= 0,24 + 0,75 \exp[1,8 + \log(k/D)] \\
 C_{D3} &= 0,55 + 0,67 \exp[-(\log(k/D) + 1)^2 / 6] \\
 \log Re_1 &= 5,4 - 0,50 \exp[2,45 + \log(k/D)] \\
 \log Re_2 &= 5,9 - 1,15 \exp\{0,7[0,2 + \log(k/D)]\} \\
 \log Re_3 &= 6,6 - 1,60 \exp\{0,7[0,2 + \log(k/D)]\}
 \end{aligned}$$

Fazendo uma média das diferenças de coeficiente de rugosidade entre uma superfície muito rugosa (rugosidade fora da faixa dos processos convencionais de usinagem) e uma superfície lisa, as diferenças de coeficiente de arrasto é da ordem de 0.5. Baseando-se na fórmula da Força de Arrasto, uma força seria o dobro da outra. Realizando um exemplo prático:

→ Para um número de Reynolds  $2.5 \times 10^5$

→ Considerando a força exercida por um vento de 1000 N, o esforço na superfície de um cilindro rugoso (usando uma lixa nº3) seria de 900 N, para uma superfície Lisa seria de 450 N.

Outro ponto discutido na análise crítica dos resultados foi a dificuldade de se avaliar a influência na prática do coeficiente de arrasto para superfícies metálicas devido as mudanças constantes de regime. Como sabemos os ventos variam

constantemente, e em intervalos muito curtos. Isso explica o fato de que a NBR 6123, norma que determina como deve ser feito o cálculo em estruturas submetidas ao vento, utiliza valores constantes de coeficiente de arrasto de acordo com cada geometria. A conseqüente mudança desse valor com as variações das velocidades ou do regime, é assegurada pelo fator de segurança adotado no projeto.

---

---

## Capítulo V

### CONCLUSÕES

---

---

## 5 – Conclusões

Através dos experimentos tivemos a comprovação que a textura superficial influencia no coeficiente de arrasto e que, essa diferença pode ser significativa no cálculo da força de arrasto dependendo da velocidade. Houve a comprovação de que quanto maior a rugosidade, maior o coeficiente de arrasto depois do valor crítico. O procedimento experimental e matemático pode ser utilizado para outras geometrias e em diferentes aplicações (como por exemplo: simulação das cargas superficiais provocadas pelo vento em cabos de transmissão). E através da vivência prática, visualizamos a grande dificuldade de se determinar o coeficiente para um cálculo estrutural, visto que ele é um parâmetro que muda constantemente por diversos fatores, e isso explica o fato da NBR 6123 utilizar parâmetros constantes e o risco da variação dos coeficientes de arrasto vão ser atribuídos na determinação do fator de segurança do projeto.

---

---

## Capítulo VI

### BIBLIOGRAFIA

---

---

## 6 - Bibliografia

FOX, R. W & McDONALD, <sup>a</sup> T. – Introdução à Mecânica dos Fluidos, Editora Guanabara, 1988, Rio de Janeiro;

Tese de doutorado: VIBRAÇÕES AEROELÁSTICAS EM TORRES ESBELTAS, Marcos Antônio Silva Pinheiro – Engenharia Civil – UFRJ;

Apostila de Mecânica dos fluidos da PUCRS, cap.11, forças aerodinâmicas. Informativo de tecnologia: Estudo da Ação do Vento sobre Treliçados Seccional Brasil: Coeficientes de Arrasto para um Módulo de Torre – UFRGS;

NBR 6123.

---

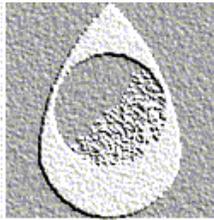
---

## **Anexo I**

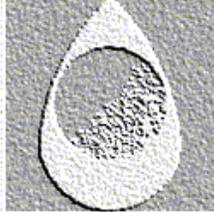
# **RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

---

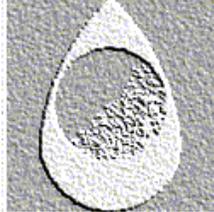
---



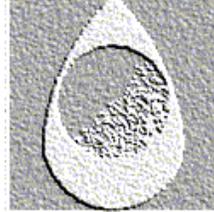
**anp**  
Agência  
Nacional do  
Petróleo



**anp**  
Agência  
Nacional do  
Petróleo



**anp**  
Agência  
Nacional do  
Petróleo



**anp**  
Agência  
Nacional do  
Petróleo



# RELATÓRIO FINAL DE ESTÁGIO EMPRESA PETROBRAS

TÍTULO:

*ESTÁGIO NA GERÊNCIA DE ENGENHARIA  
DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DA UNRN-CE*

BOLSISTA DE GRADUAÇÃO:

*Rodrigo Márcio da Silva*

ORIENTADOR:

*Prof<sup>a</sup>. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes*

PERÍODO:

*Julho/2008 a Dezembro/2008*

*Natal, 09 de fevereiro de 2009.*

## **1. Identificação**

### **Dados do Estagiário:**

Nome: Rodrigo Márcio da Silva

Curso: Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Telefone: 3661-3043/8841-6560

Email: rodrigomarcio@yahoo.com.br

### **Dados da Empresa:**

Razão Social: Petróleo Brasileiro SA – PETROBRAS.

Local: Sede da Unidade de Negócios de Exploração e Produção do Rio G. do Norte e Ceará - UN-RNCE.

Endereço: Avenida Euzébio Rocha 1000 - Cidade da Esperança - CEP 59064-100.

Natal - Rio Grande do Norte.

### **Dados do supervisor de estágio:**

Nome: Francisco Evangelista Junior

Cargo: Engenheiro de Equipamentos Pleno

Telefone: 3235-3879

Email: fevjr@petrobras.com.br

### **Dados do estágio:**

Duração do estágio: 6 meses.

Início do estágio: 01/07/2008

Fim do estágio: 31/12/2008

Carga horária: 4 horas/dia.

Setor da empresa: EMI – Engenharia de Manutenção e Inspeção.

## **2 - Introdução**

O presente relatório tem o objetivo de relatar as atividades desenvolvidas pelo aluno concluinte do curso de Engenharia Mecânica durante o estágio curricular desenvolvido na empresa Petróleo Brasileiro S.A.

O objetivo do estágio supervisionado é de complementar os conhecimentos adquiridos na Universidade, assim como familiarizar o futuro engenheiro com as práticas e ambiente de trabalho em uma empresa.

No capítulo 4 é feita uma breve introdução sobre o histórico da Empresa e suas áreas de atuação. Nos capítulos seguintes são detalhadas as principais atividades desenvolvidas, viagens a campo realizadas e participações em encontros e seminários.

### **3- A Petrobras**

Em outubro de 1953, através da Lei 2.004, a criação da Petrobras foi autorizada com o objetivo de executar as atividades do setor petróleo no Brasil em nome da União.

A Petróleo Brasileiro S/A iniciou suas atividades com o acervo recebido do antigo Conselho Nacional do Petróleo (CNP), que manteve sua função fiscalizadora sobre o setor:

- Campos de petróleo com capacidade para produzir 2.700 barris por dia (bpd);
- Bens da Comissão de Industrialização do Xisto Betuminoso;
- Refinaria de Mataripe-BA (atual RLAM), processando 5.000 bpd;
- Refinaria em fase de montagem, em Cubatão-SP (atual RPBC);
- Vinte petroleiros com capacidade para transportar 221 mil toneladas;
- Reservas recuperáveis de 15 milhões de barris;
- Consumo de derivados de 137.000 bpd;
- Fábrica de fertilizantes em construção (Cubatão - SP).

Ao longo de quatro décadas, tornou-se líder em distribuição de derivados no País, num mercado competitivo fora do monopólio da União, colocando-se entre as quinze maiores empresas petrolíferas na avaliação internacional. Detentora de uma das tecnologias mais avançadas do mundo para a produção de petróleo em águas profundas e ultraprofundas, por isso a Companhia foi premiada duas vezes, em 1992 e 2001, pela Offshore Technology Conference (OTC), o mais importante prêmio de tecnologia do setor.

Em 1997, o Brasil, através da Petrobras, ingressou no seleto grupo de 16 países que produz mais de 1 milhão de barris de óleo por dia. Nesse mesmo ano foi promulgada a Lei n ° 9.478, que abriu as atividades da indústria petrolífera no Brasil à iniciativa privada.

Com a lei, foram criados a Agência Nacional do Petróleo (ANP), encarregada de regular, contratar e fiscalizar as atividades do setor e o Conselho Nacional de Política Energética, um órgão formulador da política pública de energia. Desde então

a Petrobras dobrou sua produção e em 2003 ultrapassou a marca de 2 milhões de barris de óleo e gás natural/dia.

Em sintonia com a mudança do cenário, a Petrobras segue preparada para a livre competição, ampliando novas perspectivas de negócios e tendo maior autonomia empresarial.

A explicação para o sucesso da Petrobras está na eficiência de suas unidades espalhadas por todo o Brasil: nas refinarias, áreas de exploração e de produção, dutos, terminais, gerências regionais e na sua grande frota petroleira.

### **3.1 – Áreas de Atuação**

Como empresa de energia, a Petrobras atua em várias áreas desse setor, desde a exploração de gás e petróleo, refino, abastecimento até a distribuição. Podemos dividir as atividades da Companhia em:

Abastecimento - É responsável, de acordo com a Petroleum Intelligence Weekly, pela Petrobras ser considerada a nona maior companhia no setor downstream - refino, transporte e comercialização. A Companhia abastece quase toda a demanda do mercado brasileiro por derivados de petróleo, e busca sempre aumentar sua capacidade de produção.

Exploração e Produção - É o órgão da Petrobras que atua em pesquisa, localização, identificação, desenvolvimento, produção e incorporação de reservas de óleo e gás natural dentro do território nacional.

Gás e Energia - É a área responsável pela comercialização do gás natural nacional e importado, além da implantação de projetos, em parceria com o setor privado, que irão garantir a oferta deste combustível e de energia em todo o país.

Internacional - A Petrobras desenvolve diversas atividades no exterior e mantém uma consistente atividade internacional, desde a exploração até a compra e a venda de petróleo, além de outros atributos em várias áreas.

### 3.2 - A UN-RNCE

A Unidade de Negócio de Exploração e Produção do Rio Grande do Norte e Ceará (UN-RNCE) é uma das nove unidades do Segmento de Exploração e Produção da PETROBRAS, sendo responsável, em terra e no mar, pela exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás nas concessões situadas nas bacias sedimentares dos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará. Incluindo, também, tratamento e processamento de hidrocarbonetos, sendo seus principais produtos o Petróleo (Óleo), o Gás Natural, o Gás Liquefeito de Petróleo (Gás de Cozinha) e o Óleo Diesel.

Criada em meados de 1974, com Sede em Natal, conta hoje com uma produção diária em torno de 80 mil barris de Óleo, por volta de 8 mil barris de Óleo Diesel e 2,5 milhões de metros cúbicos de Gás Natural, processando 39 mil botijões de GLP por dia.

O Gás Natural produzido abastece 100% das necessidades dos Parques Industriais dos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Paraíba e Pernambuco, a produção de Gás de Cozinha atende a toda demanda do Rio Grande do Norte e Paraíba, e 15% do Ceará. Enquanto a produção de Óleo Diesel abastece o Rio Grande do Norte.

O organograma da UN-RNCE é apresentado abaixo, onde se pode visualizar a Engenharia de Manutenção e Inspeção (EMI), localizada abaixo do Suporte Técnico.

## Unidade de Negócios do Rio Grande do Norte e Ceará

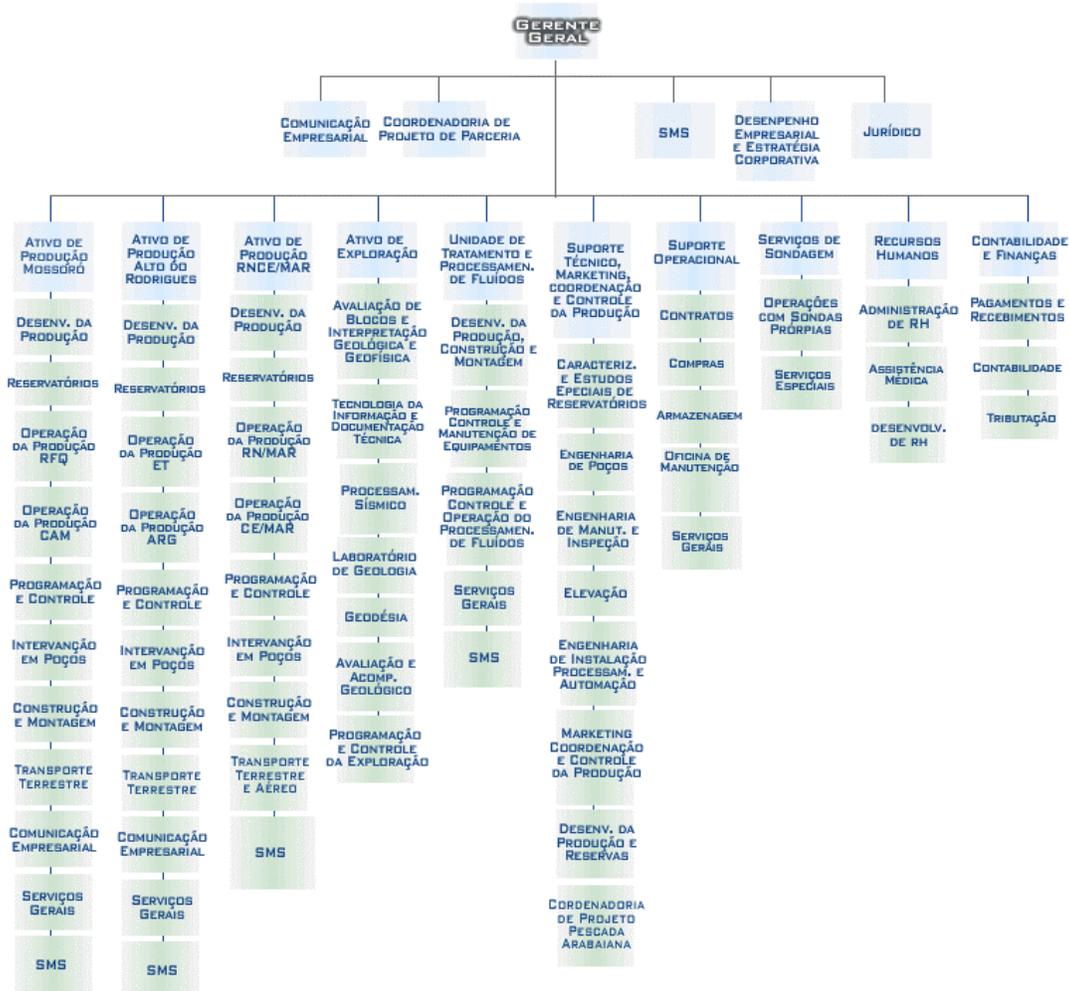


Fig. 1 – Organograma da UN-RNCE

### 3.3 – A EMI – Engenharia de Manutenção e Inspeção

Processos da EMI:

- Suporte Técnico em Engenharia de Manutenção
- Suporte Técnico em Engenharia de Inspeção
- Gerenciamento Energético
- Inspeção de Fabricação

Ser referencial de excelência em tecnologia de manutenção, inspeção e dutos na Petrobras.

Viabilizar a implementação das melhores práticas e técnicas de manutenção e inspeção nas instalações industriais e no sistema dutoviário, através do suporte técnico de engenharia, padronização e auditoria, atendendo aos melhores padrões de segurança, meio ambiente e saúde, contribuindo para a melhoria do desempenho empresarial da UN-RNCE.

- Estabelecer políticas e diretrizes técnicas de manutenção e de inspeção;
- Promover continuamente a capacitação nas melhores técnicas de manutenção e inspeção de equipamentos e instalações e no transporte dutoviário.
- Prover suporte técnico de engenharia de manutenção, inspeção de equipamentos e dutos;
- Consolidar e acompanhar os indicadores relativos à manutenção, à inspeção e à integridade da malha de dutos;
- Monitorar e controlar a corrosão dos dutos e gerenciar suas informações;
- Manter o cadastro dos dutos;
- Avaliar a integridade estrutural dos dutos;
- Representar o SPIE junto ao Órgão Certificador;
- Executar o gerenciamento energético;
- Planejar paradas de grandes equipamentos e instalações;
- Gerenciar o processo de inspeção de fabricação;
- Auditar as atividades de manutenção, inspeção e transferência de fluidos.

## **4 - Noções sobre a Indústria do Petróleo**

O caminho do petróleo, desde as pesquisas para sua descoberta até sua chegada a uma refinaria, passa pelas mãos de inúmeros especialistas. São geólogos de petróleo, paleontólogos, estratígrafos, sedimentólogos, químicos, geodestas, geoquímicos, geofísicos, engenheiros mecânicos, elétricos, engenheiros de manutenção, de minas, de perfuração, de completação, de reservatórios, de produção, cada um deles responsável por uma etapa específica. As atividades desenvolvidas para descobrir e colocar uma jazida em produção são descritas a seguir.

### **4.1 – Prospecção**

A descoberta de uma jazida de petróleo em uma nova área é uma tarefa que envolve um longo e dispendioso estudo e análise de dados geofísicos e geológicos das bacias sedimentares. Somente após exaustivo prognóstico do comportamento das diversas camadas do subsolo, os geólogos e geofísicos decidem propor a perfuração de um poço, que é a etapa que mais investimentos exige em todo o processo de prospecção.

Um programa de prospecção visa fundamentalmente a dois objetivos : (i) localizar dentro de uma bacia sedimentar as situações geológicas que tenham condição para acumulação de petróleo; e (ii) verificar qual, dentre estas situações, possui maior chance de conter petróleo. Não se pode prever, portanto, onde existe petróleo, e sim os locais mais favoráveis para sua ocorrência.

A identificação de uma área favorável à acumulação de petróleo é realizada através de métodos geológicos e geofísicos, que, atuando em conjunto, conseguem indicar o local mais propício para a perfuração. Todo o programa desenvolvido durante a fase de prospecção fornece uma quantidade muito grande de informações técnicas, com um investimento relativamente pequeno quando comparado ao custo de perfuração de um único poço exploratório.

## 4.2 - Perfuração

A perfuração de um poço de petróleo é realizada através de uma sonda. Na perfuração rotativa, as rochas são perfuradas pela ação da rotação e peso aplicados a uma broca existente na extremidade de uma coluna de perfuração, a qual consiste basicamente de comandos (tubos de paredes espessas) e tubos de perfuração (tubos de paredes finas). Os fragmentos da rocha são removidos continuamente através de um fluido de perfuração ou lama. O fluido é injetado por bombas para o interior da coluna de perfuração através da cabeça de injeção, ou *swivel*, e retorna à superfície através do espaço anular formado pelas paredes do poço e a coluna. Ao atingir determinada profundidade, a coluna de perfuração é retirada do poço e uma coluna de revestimento de aço, de diâmetro inferior ao da broca, é descida no poço. O anular entre os tubos do revestimento e as paredes do poço é cimentado com a finalidade de isolar as rochas atravessadas, permitindo então o avanço da perfuração com segurança. Após a operação de cimentação, a coluna de perfuração é novamente descida no poço, tendo na sua extremidade uma nova broca de diâmetro menor do que a do revestimento para o prosseguimento da perfuração. Do exposto, percebe-se que um poço é perfurado em diversas fases, caracterizadas pelos diferentes diâmetros de brocas.

## 4.3 - Avaliação de formações

Denominam-se “Avaliação de Formações” as atividades e estudos que visam definir em termos qualitativos e quantitativos o potencial de uma jazida petrolífera, isto é, a sua capacidade produtiva e a valoração das suas reservas de óleo e gás. A avaliação das formações baseia-se principalmente na perfilagem a poço aberto, no teste de formação a poço aberto, nos testes de pressão a poço revestido e na perfilagem de produção.

Concorrem também para a avaliação de uma formação todas as informações anteriores à perfilagem do intervalo de interesse, sejam elas obtidas na etapa do estudo geológico e geofísico da área ou na etapa de perfuração do poço. A integração de todos os dados disponíveis permite a avaliação efetiva do reservatório.

O processo se inicia com a perfuração do poço pioneiro, cuja localização é definida no estudo geológico e geofísico, basicamente a partir de dados sísmicos. Durante a perfuração do poço, vários indícios podem indicar a possibilidade da presença hidrocarbonetos numa determinada formação. Esses indícios são observados nas amostras de calha das rochas perfuradas, em testemunhos e em *kicks*, assim como pela velocidade de perfuração, pelo detector de gás, etc.

A chamada perfilagem final, executada ao término da perfuração do poço, permite obter informações importantes a respeito das formações atravessadas pelo poço: litologia (tipo de rocha), espessura, porosidade, prováveis fluidos existentes nos poros e suas saturações. A maior limitação da perfilagem é a pequena extensão de seu raio de investigação lateral, de modo que apenas a vizinhança do poço é analisada pela perfilagem.

Com base na análise dos perfis, decidem-se quais intervalos do poço são de interesse econômico potencial para se executar os testes de formação. Se não houver intervalos de interesse o poço é abandonado. Os testes de formação têm sido amplamente utilizados na indústria petrolífera para se estimar a capacidade produtiva do poço.

Apesar dos indícios obtidos durante a perfuração e a perfilagem indicarem a presença de hidrocarbonetos na formação, isto não significa que possam ser produzidos economicamente. Somente o teste de formação (isto é, somente a colocação do poço em fluxo) poderá confirmar, com segurança, a presença de hidrocarbonetos na formação e fornecer dados a respeito das condições de fluxo nas imediações do poço.

#### **4.4 - Completação**

Ao terminar a perfuração de um poço, é necessário deixá-lo em condições de operar, de forma segura e econômica, durante toda a sua vida produtiva. Ao conjunto de operações destinadas a equipar o poço para produzir óleo ou gás (ou ainda injetar fluidos nos reservatórios) denomina-se completção.

Quanto aos aspectos técnico e operacional, deve-se buscar otimizar a vazão de produção (ou de injeção) e tornar a completação a mais permanente possível, ou seja, aquela que minimize a necessidade de intervenções futuras para a manutenção do poço (as chamadas operações de *workover*).

Considerando que a completação tem reflexos em toda a vida produtiva do poço e envolve altos custos, faz-se necessário um planejamento criterioso das operações e uma análise econômica cuidadosa.

#### **4.5 - Reservatórios**

A engenharia de reservatórios se preocupa basicamente com a retirada dos fluidos do interior das rochas, de modo que eles possam ser conduzidos até a superfície.

São estudadas na engenharia de reservatórios a caracterização das jazidas, as propriedades das rochas, as propriedades dos fluidos nelas contidos, a maneira como estes fluidos interagem dentro da rocha e as leis físicas que regem o movimento dos fluidos no seu interior, com o objetivo de maximizar a produção de hidrocarbonetos com o menor custo possível.

#### **4.6 - Elevação**

Quando a pressão do reservatório é suficientemente elevada, os fluidos nele contidos alcançam livremente a superfície, dizendo-se que são produzidos por elevação natural. Os poços que produzem dessa forma são denominados de poços surgentes.

Quando a pressão do reservatório é relativamente baixa, os fluidos não alcançam a superfície sem que sejam utilizados meios artificiais para elevá-los. O mesmo ocorre no final da vida produtiva por surgência ou quando a vazão do poço está muito abaixo do que poderia produzir, necessitando de uma suplementação da energia natural através de “elevação artificial”. Utilizando equipamentos específicos reduz-se a pressão de fluxo no fundo do poço, com o conseqüente aumento do diferencial de pressão sobre o reservatório, resultando em um aumento de vazão.

Os métodos de elevação artificial mais comuns na indústria do petróleo são:

- *gas-lift* Contínuo e Intermitente (GLC e GLI);
- Bombeio Centrífugo Submerso (BCS);
- Bombeio Mecânico com Hastes (BM);
- Bombeio por Cavidades Progressivas (BCP).

A seleção do melhor método de elevação artificial para um determinado poço ou campo depende de vários fatores. Os principais a serem considerados são: número de poços, diâmetro de revestimento, produção de areia, razão gás-líquido, vazão, profundidade do reservatório, viscosidade dos fluidos, mecanismo de produção do reservatório, disponibilidade de energia, acesso aos poços, distância dos poços às estações ou plataformas de produção, equipamento disponível, pessoal treinado, investimento, custo operacional, segurança, entre outros.

Cada método apresenta vantagens e desvantagens. Somente após conhecer com detalhes os quatro métodos de elevação artificial é que se poderá optar por um deles para determinado poço.

#### **4.7 - Processamento primário de fluidos**

Ao longo da vida produtiva de um campo de petróleo ocorre, geralmente, a produção simultânea de gás óleo e água, juntamente com impurezas.

Como o interesse econômico é somente na produção de hidrocarbonetos (óleo e gás), há a necessidade de dotar os campos (marítimos ou terrestres) de “facilidades de produção”, que são instalações destinadas a efetuar, sob condições controladas, o “processamento primário dos fluidos”, ou seja:

- a separação do óleo, do gás e da água com as impurezas em suspensão;
- o tratamento ou condicionamento dos hidrocarbonetos para que possam ser transferidos para as refinarias onde é efetuado o processamento propriamente dito;
- o tratamento da água para reinjeção ou descarte.

Dependendo do tipo de fluidos produzidos e da viabilidade técnico-econômica, uma planta de processamento primário pode ser simples ou complexa. As mais simples efetuam apenas a separação gás/óleo/água, enquanto que as mais complexas incluem o condicionamento e compressão do gás, tratamento e estabilização do óleo e tratamento da água para reinjeção ou descarte.

Toda planta possui uma capacidade nominal de processamento, projetada em função do estudo de diversos parâmetros do campo produtor.

## **5 – Conceito de Manutenção**

### **5.1 – Introdução:**

A maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os vários tipos de manutenção existentes.

Existe uma variedade muito grande de denominações para classificar a atuação da manutenção, o que pode ser visto com detalhes no Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade. Não raramente essa variedade provoca uma certa confusão mais objetiva dos diversos tipos de manutenção. Por isso, é importante uma caracterização mais objetiva dos diversos tipos de manutenção, desde que, independente das denominações, todos se encaixem em um dos seis tipos descritos a seguir.

Algumas práticas definem os tipos principais de manutenção que são:

- Manutenção Corretiva Não Planejada;
- Manutenção Corretiva Planejada;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Detectiva;
- Engenharia de Manutenção.

## 5.2 - Manutenção corretiva

Manutenção Corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado. Ao atuar em um equipamento que apresentou um defeito ou um desempenho diferente do esperado estamos fazendo manutenção corretiva. Assim, a manutenção corretiva não é necessariamente, a manutenção de emergência.

Convém observar que existem duas condições específicas que levam à manutenção corretiva:

- a) Desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais.
- b) Ocorrência de falha.

Desse modo, a ação principal na Manutenção Corretiva é corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema.

A manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes:

- Manutenção Corretiva Não Planejada.
- Manutenção Corretiva Planejada.

Manutenção Corretiva não planejada é a correção da falha de maneira aleatória. Caracteriza-se pela atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor que o esperado. Não há tempo para preparação do serviço. Infelizmente ainda é mais praticado do que deveria.

Normalmente a manutenção corretiva não planejada implica altos custos, pois a quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, perda da qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção.

Além disso, quebras aleatórias podem ter conseqüências bastante graves para o equipamento, isto é, a extensão dos danos pode ser bem maior. Em plantas industriais de processo contínuo (petróleo, petroquímico, cimento, etc.) estão envolvidas no seu processamento elevadas pressões, temperaturas, vazões, ou seja, a quantidade de energia desenvolvida no processo é considerável. Interromper processamentos dessa natureza de forma abrupta para reparar um determinado equipamento compromete a qualidade de outros que vinham operando

adequadamente, levando-os a colapsos após a partida ou a uma redução da campanha da planta. Exemplo típico é o surgimento de vibração em grandes máquinas que apresentavam funcionamento suave antes da ocorrência.

Manutenção corretiva planejada é a correção do desempenho menor que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra.

Um trabalho planejado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planejado. E será sempre de melhor qualidade. A característica principal da manutenção corretiva planejada é função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento.

Mesmo que a decisão gerencial seja de deixar o equipamento funcionar até a quebra, essa é uma decisão conhecida e algum planejamento pode ser feito quando a falha ocorrer. Por exemplo, substituir o equipamento por outro idêntico, ter um “kit” para preparo rápido, preparar o posto de trabalho com dispositivos e facilidades etc.

### **5.3 - Manutenção preventiva**

Manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

Inversamente à política de Manutenção Corretiva, a Manutenção Preventiva procura obstinadamente evitar a ocorrência de falhas, ou seja, procura prevenir. Em determinados setores, como na aviação, a adoção de manutenção preventiva é imperativa para determinados sistemas ou componentes, pois o fator segurança se sobrepõe aos demais.

Como nem sempre os fabricantes fornecem dados precisos para a adoção nos planos de manutenção preventiva, além das condições operacionais e ambientais influírem de modo significativo na expectativa de degradação dos equipamentos, a

definição de periodicidade e substituição deve ser estipulada para cada instalação ou no máximo plantas similares operando em condições também similares.

#### **5.4 - Manutenção Preditiva**

A Manutenção Preditiva, também conhecida por Manutenção Sob Condição ou Manutenção com base no Estado do Equipamento, pode ser definida como a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

A Manutenção Preditiva é a primeira grande quebra de paradigma na Manutenção e tanto mais se intensifica quanto mais o conhecimento tecnológico desenvolve equipamentos que permitam avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais em funcionamento.

Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade o termo associado à Manutenção preditiva é o de prever as condições dos equipamentos. Ou seja, a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.

Quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido, é tomada a decisão de intervenção. Normalmente esse tipo de acompanhamento permite a preparação prévia do serviço, além de outras decisões e alternativas relacionadas com a produção. De forma mais direta, podemos dizer que a Manutenção Preditiva prediz as condições dos equipamentos e quando a intervenção é decidida o que se faz, na realidade, é uma manutenção corretiva planejada.

## 5.5 – Manutenção Detectiva

Manutenção Detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.

Desse modo, tarefas executadas para verificar se um sistema de proteção ainda está funcionando representam a Manutenção Detectiva. Um exemplo simples e objetivo é o botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis.

A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação.

## 5.6 – Engenharia de Manutenção

É a segunda quebra de paradigma na Manutenção. Praticar a Engenharia de Manutenção significa uma mudança cultural.

È deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar *feedback* ao projeto, interferir tecnicamente nas compras.

Engenharia de Manutenção significa perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do primeiro mundo.

Alguém que esteja praticando Manutenção Corretiva não planejada terá um longo caminho a percorrer para chegar a praticar Engenharia de Manutenção. E o maior obstáculo a ser vencido estará na cultura que está sedimentada nas pessoas.

## **6 - Descrição das Atividades Desenvolvidas no Estágio**

### ***6.1 Revisão do Procedimento de Manutenção de Motor Elétrico de Indução em Oficina:***

Análise dos tópicos referentes a esse procedimento, com respectiva análise sistemática. Para essa análise foi feita a leitura e estudo das normas: ABNT/NBR 5383 “*Máquinas elétricas girantes - máquinas de indução - determinação das características*”, ABNT/NBR 7094 “*Máquinas elétricas girantes - motores de indução*” e ABNT/NBR 8441 – “*Máquinas elétricas girantes - motores de indução de gaiola, trifásicos, fechados - correspondência entre potência nominal e dimensões*”. Investigação dos Ensaio citados nesse procedimento de execução e leitura de catálogos de fabricante de motores elétricos e de rolamentos para a finalização desse trabalho;

### ***6.2 Participação como Colaborador o GT-Unidades de Bombeio:***

Coordenado pelo Engenheiro Elias Siqueira Karbage, esse Grupo de Trabalho tem objetivo de avaliar a eficácia da manutenção e do controle operacional de unidades de bombeio mecânico com foco em desempenho, custos e perdas, abrangendo recomendações para melhorias e revisão de rotinas de operação e manutenção. Foram feitas diversas reuniões com Engenheiro Elias Siqueira Karbage e o Engenheiro Filipe Neves Duarte Lisboa discutindo variados aspectos de engenharia, análise de custos, procedimentos de manutenção corretiva e preventiva, elaborações de planilhas e gráficos que ilustram as quantidades de quebras e falhas associadas com custo para que se tenha uma perfeita análise das condições de trabalho atual.

### ***6.3 Confeção da Apostila para o Programa de Alta competência E&P e revisão bibliográfica sobre motores de combustão interna:***

Foi feita a revisão bibliográfica sobre diversas literaturas abordando Motores de Combustão Interna, revisando cálculos necessários, elementos importantes e como é feita a manutenção dos equipamentos nesse tipo de máquina térmica.

#### ***6.4 Análise da Eficiência do Compressor Vertical Sulzer:***

Está sendo desenvolvida uma análise da Eficiência desse compressor vertical. Para isso já foi feita uma revisão bibliográfica sobre compressores alternativos. Viagem de Campo para o Pólo de Guamaré para coleta de dados com os operadores e com o pessoal da sala de controle e conversa com os técnicos e engenheiros que trabalham com esse tipo de compressor, foi feita também a leitura de manuais e procedimentos diversos e discussões sobre o assunto com o Engenheiro Francisco Evangelista Júnior.

## **7 – Viagens Realizadas**

- Dia 21 a 22/07/2008 – Viagem para Mossoró para a participação 2ª Reunião de Planejamento Para o Projeto: Plano de Manutenção de UB com foco em Lubrificação;
- Dia 23/07/2008 – Coleta de dados dimensionais em Unidades de Bombeio para dimensionamento de correias nos campos de: Canto do Amaro, Riacho da Forquilha, Lorena, Pajeú, Upanema e Livramento acompanhado do Engenheiro Mecânico da Empresa Forteks Filipe Neves Duarte Lisboa;
- Dia 29/09/2008 – Tarde: Conversa com Engenheiro Domingues no Pólo de Guimarães referente as atividades (coleta de dados, acompanhamento dos serviços) que seriam realizadas por mim mais adiante;
- Dia 8/10/2008 – Manhã: Embarque para o pólo de Guimarães. Conversa com o Engenheiro Ricardo da empresa Neuman & Esser sobre compressores alternativos e como é feito o cálculo do rendimento do Compressor Vertical. Ele mostrou um material didático bastante interessante e de simples aprendizado.
- Dia 8/10/2008 –Tarde: Leitura dos arquivos sobre o compressor Sulzer, contendo documentos e desenhos de bombas, certificado de garantia, manual de instalação da bomba e motor, certificado de matéria-prima, teste e instalação;
- Dia 9/10/2008 - Busca de informações sobre o compressor com o Supervisor do setor de Mecânica da empresa Neuman & Esser – Milton; Leitura do relatório de 8.000 horas e de 50.000 com intuito de adquirir informações geométricas dos cilindro para se fazer o cálculo do rendimento;
- Dia 10/10/2008 - Visita de campo com o Engenheiro de Processamento Fabrício Campos Moreira (Acompanhamento de Unidades de Processamento de Gás, Unidade de Compressores, Unidades de Tratamento) e pedido para que ele adquira os dados termodinâmicos na sala de controle;

## **8 – Participação em encontros e seminários**

Durante o período de estágio realizado na UN-RNCE, o aluno teve a oportunidade de participar dos seguintes encontros e seminários:

- Mini-Curso de QSMS (Qualificação em Segurança, Meio Ambiente e Saúde)
  - CT-Gás;
- SIPAT (Semana Interna de Prevenção de Acidentes).

## **9 - Áreas de Identificação com o curso**

A área de identificação com o curso foi à área de termo-fluidos, já que foi um estudo sistemático na área de compressores e em segundo lugar a área de projetos, que agrega uma grande noção de princípio de funcionamento de conjuntos mecânicos e também a seleção e especificação dos seus respectivos elementos de máquinas.

## **10 – Conclusão**

A experiência do estágio supervisionado é bastante enriquecedora sob vários aspectos. Possibilita uma visão do campo de trabalho, prática dos conhecimentos adquiridos, entre outros.

No caso específico da Petrobras, consideramos o estágio como uma excelente oportunidade de familiarizar o futuro engenheiro com a indústria petrolífera, bastante ampla, dinâmica, e que envolve uma variedade de áreas de conhecimento.

Há na Petrobras uma postura de formação do estagiário, priorizando o conhecimento, e colocando a disposição do mesmo todos os recursos necessários para um bom desempenho de suas atividades.

No período de seis meses de estágio supervisionado na UN-RNCE, realizou-se o a complementação do aprendizado de várias disciplinas cursadas durante a graduação em Engenharia Mecânica. Pôde-se vivenciar na prática os problemas relacionados à manutenção de equipamentos de uma grande empresa do porte da Petrobras e a importância da execução de um plano correto de manutenção preventiva e preditiva já que as paradas não planejadas de uma determinada máquina causam inúmeros transtornos para a empresa.

Pode-se concluir que o estágio foi de grande importância científica e tecnológica para a formação, tanto pessoal, quanto profissional do estagiário.

## **11 – Agradecimentos**

Quero inicialmente de agradecer a DEUS pela vida e saúde que me foi concebida, pela paciência e luta diária dos meus pais, sempre entusiasmados em proporcionar uma boa educação de 3º grau aos seus filhos, ao meu orientador e amigo Professor José Ubiragi de Lima Mendes, ao Professor Francisco Assis de Oliveira Fontes responsável pela parceria entre a PETROBRAS e a UFRN, ao engenheiro Francisco Evangelista Junior, orientador do meu estágio na PETROBRAS pela enorme paciência demonstrada, mesmo estando sempre muito atarefado nunca renunciou esclarecer as dúvidas que surgiam diariamente, ao Engenheiro Elias Siqueira Karbage, pelo enorme ensinamento que me proporcionou, com sua grande experiência sempre teve a preocupação de explicar detalhadamente os assuntos abordados e que sempre passou atividades importantes para minha formação como profissional no estágio. Ao Engenheiro Luiz Domingues de Vasconcelos, pelos ensinamentos de Engenharia e conselhos de como exercer a profissão no mercado. A toda equipe de técnicos do Pólo de Guimarães pela grande hospitalidade nas minhas visitas, também agradecer ao Engenheiro da Empresa Forteks Filipe Neves Duarte Lisboa pela receptividade, amizade e companheirismo em todas as atividades realizadas ao longo do estágio. A todos componentes da EMI meus grandes agradecimentos.

## 12 - Bibliografia

- Apostila “*Conceitos Termodinâmicos na Compressão de Gases – Notas de Aula*” – Petrobras – Autor: Paulo Sérgio Barbosa Rodrigues;
- Fundamentos de Engenharia de Petróleo, José Eduardo Thomas, Editora Interciência;
- Manutenção – Função Estratégica, Alan Kardec & Júlio Nascif, Editora Qualitymark;
- Site da Petrobras – [www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br);
- Rede interna da Petrobras – Petronet.