



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA.
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RICARDO HUGO NUNES MEDEIROS FILHO

**CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA CAMISA DE UM ALARGADOR
DE FURO DE POÇO DE PETRÓLEO**

MOSSORÓ

2017

RICARDO HUGO NUNES MEDEIROS FILHO

**CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA CAMISA DE UM ALARGADOR
DE FURO DE POÇO DE PETRÓLEO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Manoel Quirino da Silva Junior,
Prof. Dr.

MOSSORÓ

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M488c MEDEIROS FILHO, Ricardo Hugo Nunes.
CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA CAMISA DE UM
ALARGADOR DE FURO DE POÇO DE PETRÓLEO / Ricardo
Hugo Nunes MEDEIROS FILHO. - 2017.
56 f. : il.

Orientador: Manoel Quirino da Silva Junior
Silva.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2017.

1. Poço de petróleo. 2. Alargadores. 3. Camisa.
4. Caracterização. 5. SAE 8620. I. Silva Junior,
Manoel Quirino da, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

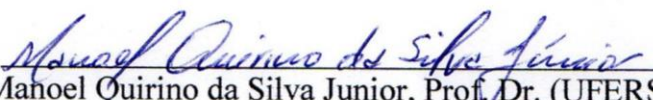
RICARDO HUGO NUNES MEDEIROS FILHO

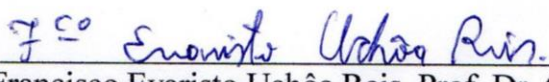
**CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA CAMISA DE UM ALARGADOR
DE FURO DE POÇO DE PETRÓLEO**

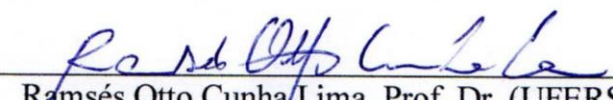
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Defendida em: 18 / 10 / 2017.

BANCA EXAMINADORA


Manoel Quirino da Silva Junior, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente


Francisco Evaristo Uchôa Reis, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador


Ramsés Otto Cunha Lima, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Aos meus Pais, Ricardo e Iara pelo apoio.

À minha namorada Ana Paula da Costa Gomes, por sempre estar do meu lado.

À minha irmã Mayara pelo apoio

Ao meu professor orientador Manoel Quirino por aceitar ser meu orientador

Aos amigos que fiz ao longo da vida.

Aos membros da banca, Francisco Evaristo e Ramsés Otto, por aceitarem o convite para serem membros da banca e por suas observações sempre construtivas.

Ao Professor Francisco Evaristo por ter papel fundamental na obtenção dos resultados de análise de composição química junta a Universidade Federal do Ceará.

À Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) que realizou a Difração de raios X nas amostras.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) que realizou a análise de composição química.

RESUMO

O petróleo é uma das principais fontes de energia do mundo, para a produção do petróleo é necessária a perfuração do poço de petróleo. Durante a perfuração do poço é necessário o alargamento do poço, para isso são utilizados alargadores ligados diretamente as brocas por meio da coluna de perfuração. Os alargadores são constituídos de 5 partes. A camisa (*Cutters*), O eixo (*Reamer Pin*), *Cross Pin*, *Drive-Fit Body Bearing Blocks* e Parafusos cabeça de soquete e anilhas. A camisa envolve o eixo e nela esta contidas os incertos que promovem o alargamento. Neste trabalho foi realizada a caracterização de uma amostra da camisa de um alargador cedida pela empresa Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda. Para a caraterização foi realizada metalografia microscópica, ensaios de dureza e microdureza, difração de raios X e análise da composição química. Da camisa foram retiradas três amostras, duas deles submetidas ao tratamento de tempera uma com resfriamento em água e outra com resfriamento em óleo, nas amostras foram realizadas a metalografia microscópica a fim de realizar a análise da microestrutura, essas amostras foram submetidas aos ensaios de dureza e microdureza para análise de dureza, visto que esta peça está submetida a intenso desgaste mecânico. Além disso a camisa foi submetida a difração de raios X e análise da composição química, para determinar o aço utilizado na fabricação da camisa. Por fim, com os métodos utilizados foi possível descobrir que o aço se tratava do aço SAE 8620, além disso, é possível realizar um tratamento térmico afim de aumentar sua resistência a dureza.

Palavras-chave: Poço de petróleo. Alargadores. Camisa. SAE 8620.

ABSTRACT

Petroleum is one of the world's major energy sources, for oil production oil well drilling is required. During drilling of the well, it is necessary to widen the well, for this purpose drills are used directly connected to the drills through the drilling column. The Reamers consist of 5 parts. Cutters, Reamer Pin, Cross Pin, Drive-Fit Body Bearing Blocks and Socket Head Cap Screws and Lock Washers Cutters surround the shaft and contain the uncertainties that promote enlargement. In this work the characterization of a sample of Cutters from an extension provided by Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda. Microscopic metallography, hardness and microhardness tests, X-ray diffraction and chemical composition analysis were performed. Three samples were taken from the cutters, two of them being subjected to the treatment of tempera one with cooling in water and another with cooling in oil, in the samples were made the microscopic metallography in order to perform the analysis of the microstructure, these samples were submitted to the hardness and microhardness tests for hardness analysis, since this piece is submitted to intense mechanical wear. In addition Cutters was subjected to X-ray diffraction and analysis of the chemical composition, to determine the steel used in the manufacture of Cutters. Finally, with the methods used it was possible to discover that the steel was SAE 8620 steel, in addition, it is possible to perform a heat treatment in order to increase its resistance to hardness.

Keywords: Oil well. Reamers. Cutters. SAE 8620.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Sonda de Perfuração do método rotativo	16
Figura 3.2 - Cunha	21
Figura 3.3 - Comandos Liso e Espiralado	22
Figura 3.4 - Tubos de perfuração	22
Figura 3.5 - Broca de cone.....	23
Figura 3.6 - Broca tricônica.....	24
Figura 3.7 - Broca de diamantes naturais	25
Figura 3.8 - Broca de diamante artificial (PDC)	25
Figura 3.9 - Alargador	26
Figura 3.10 - Partes que compõem o alargador, (1) Cutters, (2) (Reamer Pin), (3) Cross Pin, (4) Drive-Fit Body Bearing Blocks e (5) Socket Head Cap Screws e Lock Washers.....	27
Figura 3.11 - Camisa de um alargador	28
Figura 3.12 - Tipos comuns de camisas	28
Figura 3.13 - Curva de temperabilidade do ensaio Jominy para cinco aços diferentes com composição e tamanho de grãos conforme indicado.	30
Figura 3.14 - Difratoograma de raios X do ferro obtido por mecanosíntese (moagem de alta energia).....	33
Figura 3.15 - Diferentes métodos e ensaios de dureza, escalas mais comuns.....	34
Figura 3.16 - Fotomicrografia da seção transversal. (a) - Periferia; (b) - Núcleo. Ataque com Nital	35
Figura 3.17 - Microestrutura do aço SAE 8620 como recebido. Direção transversal, região do meio raio. Áreas de ferrita (regiões claras) e perlita. Ataque Nital 2% e aumento de 280x	36
Figura 4.1 - Camisa do Alargador cedido pela empresa	37
Figura 4.2 - Amostras retiradas do Material cedido pela empresa	38
Figura 5.1 - Difratoograma de raios X da amostra da camisa de um alargador de poço de petróleo	42
Figura 5.2 - Micrografia da camisa como entregue, aumento de 500 vezes.	43
Figura 5.3 - Micrografia da camisa como entregue, aumento de 1000 vezes.	44
Figura 5.4 - Micrografia da camisa após tratamento de tempera com resfriamento em água, aumento de 500 vezes.....	44
Figura 5.5 - Micrografia da camisa após tratamento de tempera com resfriamento em água, aumento de 1000 vezes.....	45

Figura 5.6 - Micrografia da camisa após tratamento de tempera com resfriamento em óleo, aumento de 500 vezes.....	46
Figura 5.7 - Micrografia da camisa após tratamento de tempera com resfriamento em óleo, aumento de 1000 vezes.....	46
Figura 5.8 - Resultados de dureza para as amostras como entregue, temperada em óleo e temperada em água	48
Figura 5.9 - Resultados de microdureza para as amostras como entregue, temperada em óleo e temperada em água	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Composição química do Aço SAE 8620	32
Tabela 5.1 - Composição química da camisa do alargador de poço de petróleo.....	41
Tabela 1 - Medições de dureza nas amostras como entregue, tempera em agua e temperada em óleo.	55
Tabela 2 - Medições de microdureza nas amostras como entregue, tempera em agua e temperada em óleo.....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVO.....	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Métodos de perfuração	14
3.1.1 Processo de perfuração de poço de petróleo	14
3.2 Maquinário.....	15
3.2.1 Sistema Rotativo	15
3.2.2 Sistema de Geração de Energia.....	18
3.2.3 Sistema de Movimentação de Cargas	18
3.2.4 Sistema de Circulação de Fluidos	19
3.2.5 Sistema de Segurança.....	20
3.2.6 Sistema de Monitoração.....	20
3.3 Ferramental utilizado.....	21
3.3.1 Brocas.....	23
3.3.2 Alargador.....	25
3.4 Tratamento térmico	28
3.4.1 Têmpera.....	29
3.4.2 Revenimento	31
3.5 Aço SAE 8620.....	31
3.5.1 Difração de Raio-X	32
3.5.2 Ensaio de dureza	33
3.5.3 Ensaio de microdureza	34
3.5.4 Microcopia Óptica.....	35
4 MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 Análise de composição química.....	38
4.2 Difração de Raios X (DRX)	38
4.3 Análise Microscopia Óptica.....	39
4.4 Ensaio de dureza e microdureza	40
4.4.1 Ensaio de dureza	40
4.4.2 Ensaio de microdureza	40

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
5.1	Análise de composição química.....	41
5.2	Difração de Raios X (DRX)	41
5.3	Análise Microscopia Óptica.....	42
5.4	Ensaio de dureza e microdureza	47
5.4.1	Ensaio de dureza	47
5.4.2	Ensaio de microdureza	48
6	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51
	ANEXO I – RESULTADO DAS INDENTAÇÕES DO ENSAIO DE DUREZA DAS AMOSTRAS COMO ENTREGUE, TEMPERA EM AGUA E TEMPERADA EM ÓLEO.....	55
	ANEXO II – RESULTADO DAS INDENTAÇÕES DO ENSAIO DE MICRODUREZA DAS AMOSTRAS COMO ENTREGUE, TEMPERA EM AGUA E TEMPERADA EM ÓLEO	56

1 INTRODUÇÃO

A importância que o petróleo tem na nossa sociedade é imensurável, atualmente o petróleo é uma das principais fontes de energia do mundo. A indústria do petróleo possui grande importância no cenário econômico mundial, em especial para o Brasil, no qual é grande responsável pelo desenvolvimento socioeconômico do país. À medida que vai ocorrendo o avanço tecnológico cresce a demanda mundial por energia, fazendo com que seja necessária o aumento do volume de produção diária de petróleo.

Pode-se destacar dois sistemas de produção: A produção em Terra (*ONSHORE*) e a produção no Mar (*OFFSHORE*), *OFFSHORE* demanda custos elevados. Já o *ONSHORE* possui custos menores e engenharia menos complexa em relação à exploração submarina, foi primeiro sistema a ser desenvolvido e ainda é um grande responsável pela produção de petróleo (ECONOMIDES; WATTERS; DUNN-NORMAN, 1998).

Com avanço da exploração em áreas de difícil acesso, torna-se necessário expandir o conhecimento técnico envolvido nas operações de perfuração de poços e nos materiais que envolve este processo. Isso é de extrema importância para que se possa otimizar os custos e minimizar os riscos envolvidos. Para alcançar tal objetivo é fundamental o estudo acerca das ferramentas que compõe o processo de furação.

As principais ferramentas no processo de furação são as brocas e os alargadores que tem o objetivo de conferir ao poço as dimensões necessárias para o seu funcionamento adequado. Em especial os alargadores que fornecem as dimensões finais ao poço. O alargador é composto de diferentes partes, uma dessas partes é a camisa. A camisa envolve o eixo e nela está contida os insertos que promovem o alargamento.

A importância de se conhecer o material que constitui a camisa se dá pelo fato de que após caracterizar o material é possível promover melhorias em suas propriedades a partir de tratamentos sejam químicos, mecânicos ou térmicos. Peças envolvidas na produção de petróleo estão envolvidas em condições muito extremas, como no caso da camisa que é submetida a condições de desgaste e a um ambiente muito corrosivo. Neste caso, tratamentos poderão ser realizados a fim de melhorar as propriedades, tais como dureza e resistência a corrosão, e assim aumentar a vida útil do equipamento.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Realizar a caracterização microestrutural do material da camisa de um alargador de furo de poço de petróleo, doado pela empresa Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as fases presentes no material da camisa do alargador por Difração de Raios X (DRX);
- Analisar a microestrutura do eixo por Microscopia Óptica, nas amostras como recebida pela empresa e após tratamento térmico de têmpera em diferentes meios de resfriamento (água e óleo);
- Realizar ensaios de dureza e microdureza nas amostras como recebida pela empresa e após tratamento térmico de têmpera;
- Fazer análise química por espectrometria de emissão óptica para medir a composição química do material;
- Especificar o tipo de material de acordo com a SAE.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Métodos de perfuração

Existem basicamente dois métodos de perfuração de poço, o método percussivo e o método rotativo. No método percussivo a perfuração é realizada golpeando a rocha com uma broca, o que causa a fragmentação da rocha por esmagamento. Os cascalhos gerados do processo são retirados através de uma ferramenta chamada caçamba. No método rotativo a perfuração acontece devido ao movimento de rotação da broca o que causa o cisalhamento ou esmerilhamento, dependendo do tipo de broca a ser utilizada. A retirada dos cascalhos gerados é realizada através do bombeamento do fluido de perfuração. O método percussivo foi o primeiro método utilizado, sendo considerado um método ultrapassado sendo substituído pelo método rotativo (ECONOMIDES; WATTERS; DUNN-NORMAN, 1998).

3.1.1 Processo de perfuração de poço de petróleo

O petróleo é constituído em sua maioria por compostos químicos orgânicos, os hidrocarbonetos. O petróleo tem sua origem a partir da matéria orgânica depositada junto aos sedimentos. A formação do petróleo se dá por uma sequência de processos, resultados da interação entre a matéria orgânica, os sedimentos e as condições de temperatura e pressão. Parte do petróleo gerado sofre migração e se acumula em uma rocha, conhecida como rocha-reservatório. Esta rocha pode ter qualquer origem, no entanto para admitir o acúmulo do petróleo, ela necessita de porosidade (THOMAS, 2004).

A perfuração dos poços de petróleo é realizada através de um equipamento conhecido como sonda, e é obtida por etapas. Na qual, cada etapa depende do diâmetro da broca ou do alargador utilizado durante a perfuração. A quantidade de fases da perfuração dependerá das características das zonas perfuradas e da profundidade final do poço. Após a conclusão dessas fases, o poço é revestido e cimentado (THOMAS, 2004).

A perfuração do poço se dá desde perfuração da superfície até o reservatório de petróleo e tem como finalidade, estabelecer o contato com o petróleo e permitir assim a sua retirada. Os poços podem ser construídos com dois objetivos, com finalidade exploratória ou geológica, portando quanto um poço é perfurado tem como objetivo verificar a existência de hidrocarbonetos no subsolo (THOMAS, 2004).

O alargamento consiste em aumentar o diâmetro do furo alcançado pela broca, podendo ser realizado após a furação, com uma broca de diâmetro maior, ou realizado durante a perfuração, utilizando alargadores. Esta última opção é a mais vantajosa pois economiza tempo e não necessita de muitas brocas (THOMAS, 2004).

3.2 Maquinário

O maquinário utilizado durante o processo de perfuração dos poços de petróleo são as sondas. A perfuração dá-se início com a instalação da sonda e a coluna de perfuração (ROCHA; AZEVEDO, 2009).

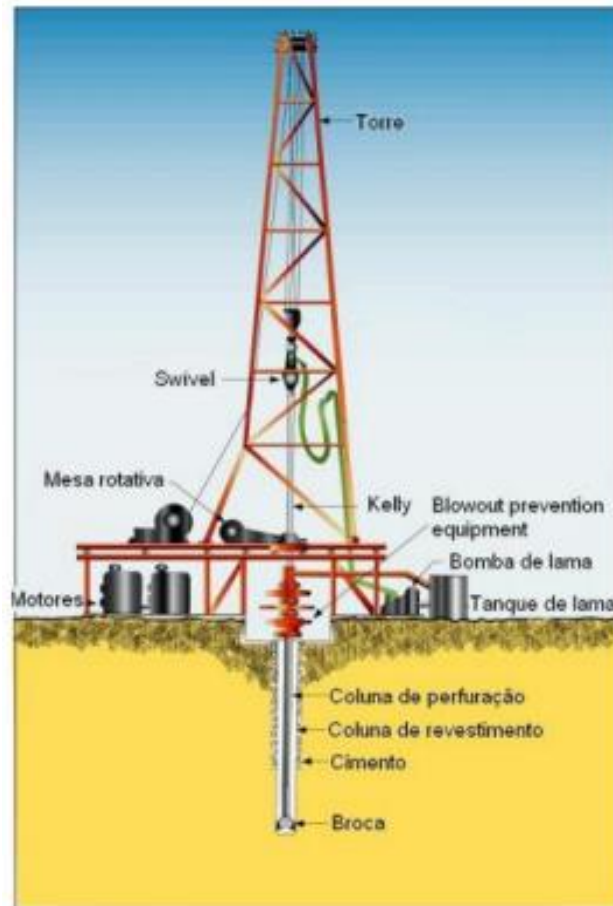
Com a sonda as rochas são perfuradas pela ação rotativa de uma broca existente na extremidade da uma coluna de perfuração. Os fragmentos de rocha resultantes da ação da broca, são removidos pela ação de um fluido de perfuração ou lama injetados por bombeamento na coluna de perfuração. Quando é atingido a profundidade desejada, a coluna de perfuração é retirada e substituída pela coluna de revestimento, que possui diâmetro inferior ao da broca de perfuração executando a cimentação entre as uniões dos tubos de revestimento para garantir a segurança, assim a coluna de perfuração volta a ser descida com uma nova broca, cujo diâmetro é menor. Este processo continua até que o poço esteja finalizado (THOMAS, 2004). Na Figura 3.1 é mostrada uma sonda e seus principais componentes.

Para melhor entender o funcionamento de uma sonda é necessário entender o funcionamento das principais operações que envolve a perfuração (MALOUF, 2013).

3.2.1 Sistema Rotativo

O sistema rotativo de uma sonda é responsável por dar energia mecânica à coluna de perfuração, é composto pela mesa rotativa, *Top drive*, *Kelly*, Bucha do *Kelly*, Chave flutuante, Rotacionador de tubos e *Iron Roughtneck*. (MALOUF, 2013).

Figura 3.1 - Sonda de Perfuração do método rotativo



Fonte: Mathias (2016)

3.2.1.1 Mesa Rotativa

A mesa rotativa é responsável por oferecer o toque a coluna de perfuração durante as operações, além de suportar o peso da coluna durante as operações de manobra. A mesa rotativa utiliza uma corrente e um motor que juntos transferem energia mecânica para a coluna de perfuração. Em algumas sondas terrestres a mesa passou a ter apenas a função de segurar o peso da coluna devido a implantação do *top drive* (MALOUF, 2013).

3.2.1.2 Top drive

O *Top drive* tem como função fornecer o torque à coluna de perfuração para que a broca possa, então, perfurar as formações rochosas. Sendo este equipamento uma solução mais eficiente ao uso da mesa rotativa e *Kelly*, por apresentar algumas vantagens como maior

velocidade de operação, maior potência de rotação, permitir a movimentação vertical da coluna entre outras vantagens (MALOUF, 2013).

3.2.1.3 *Kelly* e Bucha do *Kelly*

O *Kelly* é um segmento de tubo especial cuja seção transversal é sextavada, quadrada ou octogonal. O *Kelly* se encaixa na bucha do *Kelly* que por sua vez, se encaixa em um dispositivo conhecido como bucha mestre. A bucha mestre é ligada à mesa rotativa e auxilia na sustentação do peso da coluna e transmite o movimento de rotação para a bucha do *Kelly*. Com a mesa em rotação o movimento é transmitido da bucha mestre para bucha do *Kelly* e por fim para o *Kelly*. O *Kelly* se conecta a coluna de perfuração e, dessa maneira, transmite a rotação da mesa por toda a coluna até chegar à broca (MALOUF, 2013).

3.2.1.4 Chave Flutuante

A chave flutuante é utilizada para aplicar o torque entre duas juntas de tubo. Todos os mecanismos de aplicação de torque são dotados de um torquímetro, que proporciona que o torque exato seja aplicado à conexão (ECONOMIDES; WATTERS; DUNN-NORMAN, 1998).

3.2.1.5 Rotacionador de Tubos (*Pipe Spinner*)

O rotacionador de tubos é utilizado para enroscar/desenroscar tubos com grande velocidade. Esse equipamento não tem a capacidade de dar o torque nas tubulações portanto é necessária a utilização em conjunto com as chaves flutuantes (ECONOMIDES; WATTERS; DUNN-NORMAN, 1998).

3.2.1.6 *Iron Roughtneck*

A *Iron Roughtneck* é uma substituição para as chaves flutuantes e o rotacionador de tubos. A parte de inferior do equipamento mantém a coluna estática enquanto a parte de superior tem a capacidade de enroscar rapidamente e aplicar o torque das conexões (MALOUF, 2013).

3.2.2 Sistema de Geração de Energia

O sistema de geração de energia é responsável por gerar a energia necessária para alimentar todos os sistemas da sonda. Em geral, a geração de energia se dá pela utilização de motores movidos à diesel ligados diretamente aos equipamentos por meio de correias, em alguns casos os motores a diesel são conectados à geradores elétricos que promovem a geração da energia. Também são utilizados pequenos geradores elétricos para alimentar o sistema de iluminação e outros pequenos equipamentos que necessitam de energia elétrica (ECONOMIDES; WATTERS; DUNN-NORMAN, 1998).

3.2.3 Sistema de Movimentação de Cargas

O sistema de movimentação de cargas de uma sonda é responsável por transportar os tubos da coluna de perfuração e os revestimentos até o poço (ECONOMIDES; WATTERS; DUNN-NORMAN, 1998).

3.2.3.1 Guincho (*Drawworks*)

O guincho tem como função sustentar o peso da coluna de perfuração quando esta é descida ou retirada do poço (ECONOMIDES; WATTERS; DUNN-NORMAN, 1998).

3.2.3.2 Bloco de Coroamento e Bloco Viajante

O bloco de coroamento e bloco viajante fazem parte de um sistema de polias que permite ao guincho levantar um peso maior do que ele suportaria (ECONOMIDES; WATTERS; DUNN-NORMAN, 1998).

3.2.3.3 Passarela de Tubos (*Pipe Catwalk*) e Prateleira para Tubo (*Pipe Rack*)

O sistema de esteira de tubos da sonda, ou passarela de tubos, tem a função de posicionar as juntas de tubo de modo a ser possível movê-las rapidamente durante operações de manobra, já prateleira de tubos é o local onde os tubos ficam armazenados, em posição horizontal (MALOUF, 2013).

3.2.3.4 Elevador de Tubos

O elevador de tubos tem como função segurar os tubos revestimento ou tubos da coluna de perfuração de modo a movê-los com segurança e eficiência, reduzindo, assim o tempo das operações de manobra (MALOUF, 2013).

3.2.3.5 *Iron Derrickman*

O *iron derrickman* auxilia as operações de manobra pois pega os tubos no cavalete de tubos e os coloca em posição para serem conectados ao *top drive* ou ao elevador (MALOUF, 2013).

3.2.4 Sistema de Circulação de Fluidos

O sistema de circulação de fluidos da sonda tem como função bombear os fluidos da perfuração, além do material necessário para a cimentação. Os fluidos da perfuração são responsáveis por carregar os cascalhos para fora do poço, conferir pressão hidrostática ao poço, lubrificar e refrigerar entre outras (ECONOMIDES; WATTERS; DUNN-NORMAN, 1998).

3.2.4.1 Bombas de Lama

As bombas de lama auxiliam no processo de bombeamento e separação da lama encontrada durante a perfuração. São compostas por um conjunto de cilindros, pistões e válvulas que tem como função realizar o deslocamento de fluidos (MALOUF, 2013).

3.2.4.2 Peneiras de Lama

As peneiras de lama são utilizadas para remoção dos cascalhos da lama de perfuração. As peneiras têm como princípio de funcionamento a utilização de telas, com uma leve inclinação, que são capazes de segregar os cascalhos da lama (MALOUF, 2013).

3.2.4.3 Desareiator, Dessiltador e Degaseificador

O desareiator tem a finalidade de segregar partículas maiores do fluxo de lama. Devido a ação da gravidade as partículas maiores e mais pesadas são separadas do restante do fluxo. Após a separação essas partículas são descartadas. O dessiltador tem o princípio de funcionamento igual ao desareiator no entanto ele é de menor porte (MALOUF, 2013).

O Degaseificador tem como função remover o gás na lama de perfuração, o degaseificador diminui a pressão da lama o que provoca uma expansão do gás e o surgimento das bolhas, que se separam do restante da lama (MALOUF, 2013).

3.2.4.4 Unidade de Cimentação

A unidade de cimentação é um conjunto de bombas e misturadores, que tem como objetivo de misturar o cimento, a água e aditivos de modo a criar uma pasta responsável pela cimentação (MALOUF, 2013).

3.2.5 Sistema de Segurança

O sistema de segurança é responsável por garantir a integridade das instalações, das pessoas e do meio ambiente envolvidos na perfuração de um poço de petróleo (MALOUF, 2013).

3.2.6 Sistema de Monitoração

O sistema de monitoração é utilizado para monitorar todos os principais parâmetros envolvidos na perfuração do poço, são eles: Taxa de penetração da broca; Peso na broca; Peso no gancho; Altura do *Kelly* ou *Top Drive*; Torque e arrasto; Volume de lama no tanque; Peso da lama; Temperatura da lama; Pressão de saída da bomba de lama; e Frequência de rotação da coluna (MALOUF, 2013).

3.3 Ferramental utilizado

A perfuração do poço de petróleo dá-se início quando a broca na extremidade inferior da coluna, o sistema de rotação impõe o movimento à broca, esse movimento deve fornecer energia suficiente para perfurar a rocha (CARDOSO, 2005).

Entre as ferramentas utilizadas estão as cunhas (Figura 3.2), que tem objetivo segurar o peso da coluna de perfuração sobre a mesa rotativa. Fazendo com que seja possível realizar todo tipo de manobra com a coluna (MALOUF, 2013).

Figura 3.2 - Cunha



Fonte: Texas Drilling Tools LLC (2015)

Entre os principais componentes da coluna se destaca os comandos, tubos pesados e tubos de perfuração. Todos estes tubos devem possuir canais de fluxo para que seja possível a passagem do fluido de perfuração (CARDOSO, 2005).

Os comandos (*drill collars*) fornecem rigidez a coluna e peso a broca, são os primeiros tubos acima da broca, podem apresentar corpo liso ou espiralado (Figura 3.3). Geralmente são de maior diâmetro que os demais tubos. O corpo espiralado facilita o fluxo dos fluidos provenientes da perfuração (CARDOSO, 2005).

Figura 3.3 - Comandos Liso e Espiralado

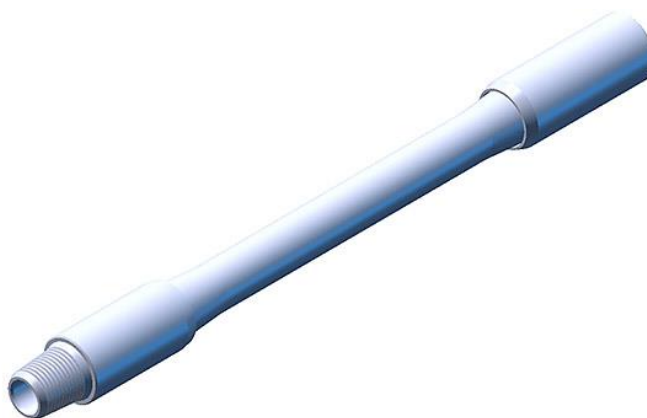


Fonte: Schlumberger (2017)

Os tubos pesados (*heavy weight drill pipes*) são tubos de menor diâmetro que os comandos e possibilita uma transição de rigidez entre os comandos e os tubos de perfuração, o que vem a diminuir a probabilidade de falha por fadiga no equipamento (THOMAS, 2004).

Na Figura 3.4 é apresentado os tubos de perfuração (*drill pipes*). Esses tubos possuem a extremidade cônica soldadas ao corpo do tubo, em sua parte interna é aplicada uma resina para diminuir a corrosão e o desgaste dos tubos (THOMAS, 2004).

Figura 3.4 - Tubos de perfuração



Fonte: Kamyshin Drilling (2016)

Entre os acessórios utilizados na coluna de perfuração se destaca os substitutos, os estabilizadores, os escareadores, os amortecedores de vibrações e os alargadores (THOMAS, 2004).

Os substitutos podem desempenhar diversas funções, tais como: Sub do Kelly; Sub de elevação; Sub de cruzamento; Sub de redução; e Sub de broca. Os estabilizadores são ferramentas que proporciona maior rigidez à coluna, sendo do mesmo diâmetro da broca. Os escareadores possuem a mesma função dos estabilizadores e se diferem devido a aplicação, estabilizadores são usados em mais rochas duras e abrasivas do que as do escareadores. Os

amortecedores de vibração têm como função absorver as vibrações da coluna de perfuração, ocasionadas pela ação da broca (THOMAS, 2004).

3.3.1 Brocas

Brocas são ferramentas de corte utilizadas para a perfuração dos poços de petróleo, e tem a função de promover o rompimento e a degradação das rochas durante todo o processo de perfuração. As brocas são situadas na parte mais inferior da coluna de perfuração e são a principal responsável pela fabricação do poço. A classificação mais importante das brocas é com relação a presença de partes moveis ou não, podendo as brocas serem classificadas em brocas sem partes móveis e brocas com partes móveis (PLÁCIDO; PINHO, 2009).

3.3.1.1 Brocas com partes móveis

As brocas com partes móveis são ferramentas que possibilita a retirada e/ou substituição de algumas de suas partes. Estas brocas são divididas em dois elementos principais, a estrutura cortante e os rolamentos (CARDOSO, 2005).

A broca de cone (Figura 3.5) é tipo de broca com partes moveis sendo uma das mais utilizadas, uma vez que garante um desempenho melhor na perfuração rotativa. Estas brocas são constituídas de cones cortantes que giram em torno do seu próprio eixo (PLÁCIDO; PINHO, 2009).

Figura 3.5 - Broca de cone



Fonte: Cangzhou (2016)

As brocas tricônicas (Figura 3.6) são formadas por uma união de três brocas de cone e possuem as estruturas cortantes em fileiras de dentes montados sobre o cone (THOMAS, 2004).

Figura 3.6 - Broca tricônica



Fonte: Shareate (2017)

3.3.1.2 Brocas sem partes móveis

As brocas sem partes móveis possuem menores possibilidades de falhas. Entre esse tipo de broca se destacam as integrais de lâminas de aço, de diamantes naturais e de diamantes artificiais. As brocas integrais de lâminas de aço foram as primeiras a serem utilizadas e eram chamadas de brocas de rabo de peixe. Estas brocas possuem canais dos quais passam os fluidos da coluna para o interior do poço. Com o tempo as brocas de lâminas de aço foram substituídas pelas brocas de cones, devido ao reduzido tempo de vida útil (THOMAS, 2004).

As brocas de diamantes naturais (Figura 3.7) perfuram pelo efeito de esmerilhamento. Nessas brocas os diamantes naturais são fixados numa matriz metálica especial e durante a perfuração somente os diamantes entram em contato com a rocha (THOMAS, 2004).

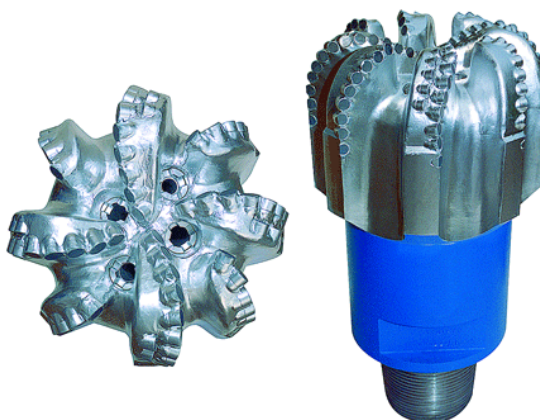
Figura 3.7 - Broca de diamantes naturais



Fonte: Hejian Baines (2016)

As brocas de diamante artificiais (Figura 3.14) são chamadas de PDC (Polycrystalline Diamond Compact) e são formadas por pastilhas montadas sobre uma base cilíndrica. Nas pastilhas ficam localizadas finas camadas de partículas de diamantes aglutinadas com cobalto, fixada a outra camada composta de carbureto de tungstênio. Essas brocas realizam a perfuração através do cisalhamento (THOMAS, 2004).

Figura 3.8 - Broca de diamante artificial (PDC)



Fonte: Robert Groot (2016)

3.3.2 Alargador

Alargamento consiste do ato de aumentar do diâmetro do poço, esse aumento pode ser obtido utilizando brocas de diferentes diâmetros, partindo do menor diâmetro até o diâmetro desejado. Outra alternativa é a utilização de uma ferramenta conhecida como alargador

(Figura 3.15), o alargador tem o objetivo aumentar o diâmetro do furo e pode ser utilizado após a furação ou durante. Com o objetivo de economizar tempo durante a perfuração do poço o alargamento é realizado de maneira simultânea a furação, sendo colocado na coluna de perfuração. (THOMAS, 2004).

Figura 3.9 - Alargador

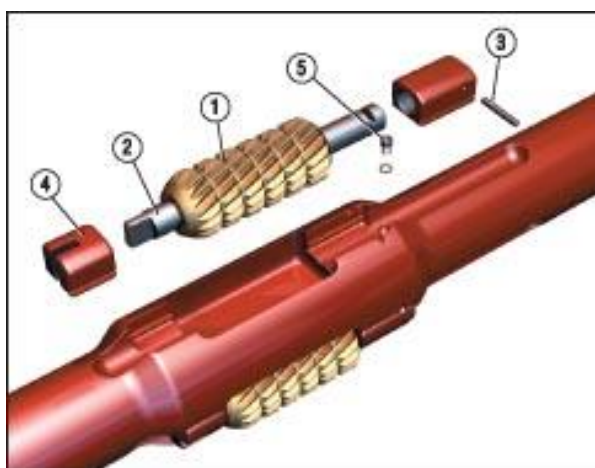


Fonte: Adaptado de Schlumberger (2016)

Os alargadores são projetados para garantir a estabilização do poço e permitir o escareamento do poço. A escolha do alargador deve levar em consideração diversos fatores, tais como: o tamanho do furo, tipo de cortadores, tamanho do colar da broca, entre outros. Existem diversos tipos de alargadores e cada empresa fornecedora é responsável pela padronização de seus alargadores (ĐINH, 2015).

Os alargadores são constituídos basicamente de 5 partes (Figura 3.16): (1) A camisa (*Cutters*), (2) O eixo (*Reamer Pin*), (3) *Cross Pin*, (4) *Drive-Fit Body Bearing Blocks* e (5) Parafusos cabeça de soquete e anilhas. O eixo é um pino de grande diâmetro, carburado e endurecido. O eixo é impedido de girar pelo entalhe em sua extremidade e é fixado nos blocos de apoio. *Cross Pin* é um arranjo de pinos em cruz que mantém com segurança o eixo e a camisa do alargador, proporcionando um simples, mas seguro, dispositivo de bloqueio. *Drive-Fit Body Bearing Blocks* são blocos que posicionam adequadamente a camisa para proporcionar o alargamento correto. Parafusos cabeça de soquete e anilhas constitui um dispositivo de bloqueio secundário para eixo em cada corpo para tamanhos de buracos 6 polegadas e maiores (ĐINH, 2015).

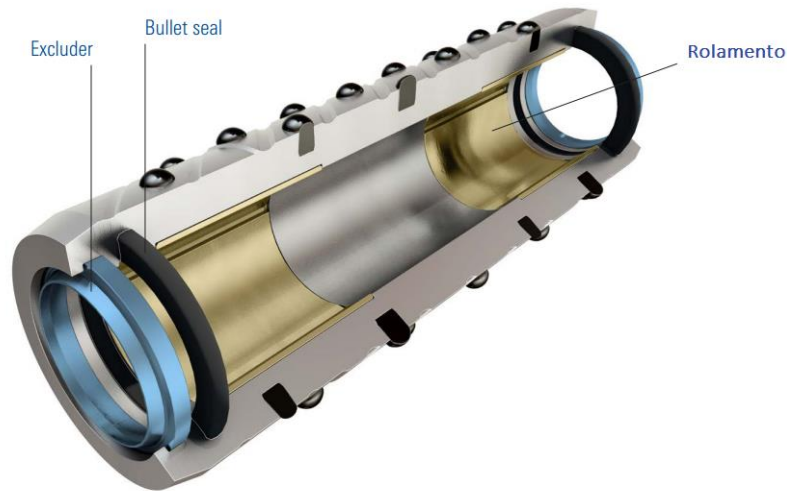
Figura 3.10 - Partes que compõem o alargador, (1) *Cutters*, (2) (*Reamer Pin*), (3) *Cross Pin*, (4) *Drive-Fit Body Bearing Blocks* e (5) *Socket Head Cap Screws e Lock Washers*



Fonte: Đình (2015)

A camisa (Figura 3.11) envolve o eixo e nela estão localizados os insertos, que são os responsáveis diretamente pelo alargamento (SCHLUMBERGER, 2016).

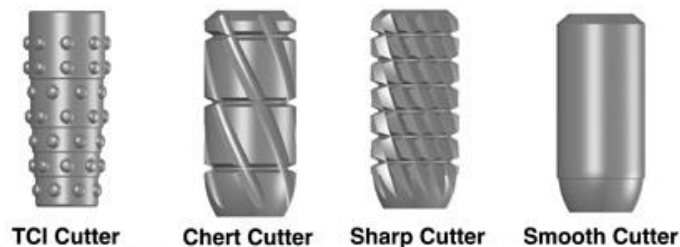
Figura 3.11 - Camisa de um alargador



Fonte: Adaptado de Schlumberger (2016)

A disposição desses insertos, o material dos insertos, e o formato da camisa variam de acordo com cada fabricante. Os insertos mais comuns são os de tungstênio, no entanto eles podem ser até mesmo de diamante. A Figura 3.12 apresenta alguns tipos comuns a diversos fabricantes (SCHLUMBERGER, 2016).

Figura 3.12 - Tipos comuns de camisas



Fonte: Đình (2015)

3.4 Tratamento térmico

Os tratamentos térmicos são operações que proporciona variações em algumas propriedades dos aços e ligas especiais, tais como dureza, tenacidade, ductilidade entre outras. Essas operações consistem no aumento e diminuição da temperatura em condições controladas. Os principais tratamentos térmicos são têmpera, recozimento, normalização e revenimento (SILVA; MEI, 2010).

Os aços utilizados na perfuração de um poço de petróleo devem ser submetidos a tratamentos térmicos para melhorar suas propriedades como a resistência a corrosão, dureza entre outras (THOMAS, 2004).

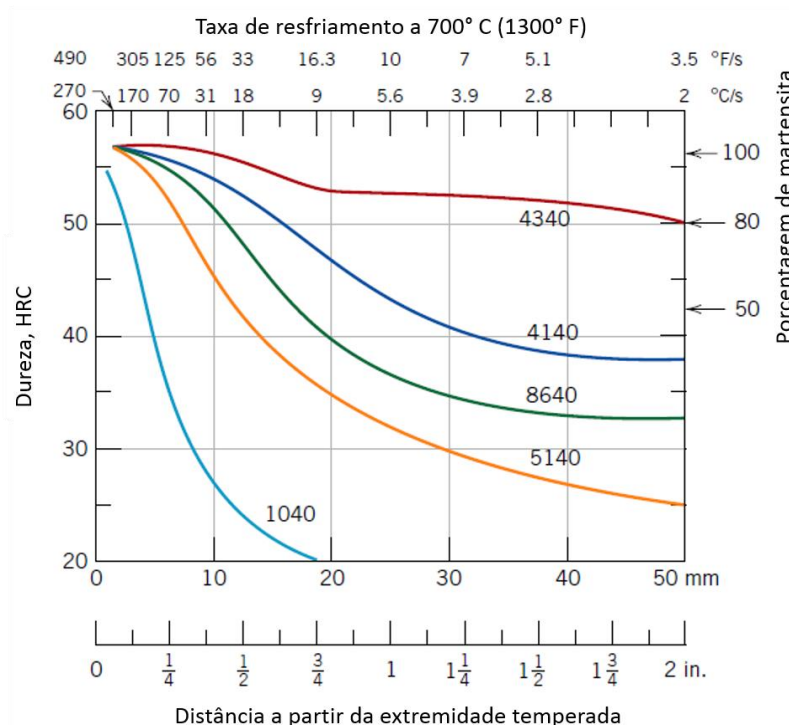
3.4.1 Têmpera

Para os aços, os tratamentos mais comuns são a têmpera e o revenimento. A têmpera consiste no aquecimento do material até o campo austenítico, garantindo assim que todas as fases tenham se transformado em austenita, em seguida é realizado um resfriamento brusco, até uma temperatura que seja abaixo da temperatura de formação da martensita, que varia para cada aço (CHIAVERINI, 2008).

A temperabilidade é uma medida qualitativa de redução da dureza da peça, partindo da sua superfície até seu núcleo. A Figura 3.13 apresenta curvas de temperabilidade de ligas de aço. Todas as ligas contêm o mesmo percentual de carbono variando na quantidade dos elementos de liga, na Figura 3.13 é possível observar que a temperabilidade do aço carbono comum cai de forma abrupta, porém o mesmo não acontece com os aços-liga, para os quais as curvas apresentam uma queda mais suave. Em todos os casos a dureza na superfície é igual, pois depende apenas do teor de carbono (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

A taxa de resfriamento no processo de têmpera tem influência vital no resultado do tratamento, sendo dependente do meio de resfriamento que entra em contato com a amostra. Os meios mais comuns são água, óleo e ar, onde a água é o resfriamento mais brusco e o ar o mais suave. Para os aços com maiores teores de carbono, as têmperas realizadas em óleo são as mais adequadas, pois o resfriamento em água pode produzir trincas ou contrações (CHIAVERINI, 2008).

Figura 3.13 - Curva de temperabilidade do ensaio Jominy para cinco aços diferentes com composição e tamanho de grãos conforme indicado.



Fonte: Callister e Rethwisch (2012)

O tratamento de têmpera é associado a uma transformação martensítica. O nome martensita foi dado à microestrutura resultante das transformações das ligas de ferro-carbono, durante o resfriamento rápido da austenita (RASMA, 2015).

A transformação martensítica modifica as características físicas dos materiais. Assim a transformação martensítica pode ser definida como uma transformação de fase no estado sólido adifusional, ou seja, sem difusão. Sendo o resultado de um movimento coordenado e/ou cooperativo entre os átomos da fase matriz, mantendo uma correlação entre os reticulados da fase matriz e da fase resultante (GUIMARÃES, 1981).

No momento em que ocorre a transformação martensítica, a estrutura do material, que antes era Cúbica de Face Centrada (CFC) é transformada em Cúbica de Corpo Centrado (CCC) por um processo descrito como um cisalhamento brusco. Nessa nova estrutura os átomos elementos de liga, como o carbono e nitrogênio, não conseguem se difundir, fazendo com que permaneçam em solução, nos interstícios. No entanto, a presença destes elementos acima do limite de solubilidade da fase CCC, gera, por distorção, uma estrutura Tetragonal de Corpo Centrado (TCC). Após a transformação, a vizinhança atômica e a composição química permanecem inalteradas (GUIMARÃES, 1981).

3.4.2 Revenimento

Após temperada a martensita é extremamente dura e frágil, fazendo com que tenha grande risco de trincar, além disso a baixa tenacidade faz com que seja impraticável a sua utilização em projetos mecânicos. O revenimento surge como uma alternativa para este problema, devendo ser realizado logo após a têmpera (SILVA; MEI, 2010).

O revenimento consiste em aquecer o material até uma temperatura abaixo da temperatura de austenitização, manter durante tempo suficiente para equalização de temperatura e obtenção das propriedades (SILVA; MEI, 2010).

3.5 Aço SAE 8620

O aço SAE 8620 é um aço para cementação, a cementação é utilizada para aumentar a resistência ao desgaste na superfície do material. Este aço é ligado ao níquel, cromo, e molibdênio para conferir melhor temperabilidade. É utilizado em aplicações que requeiram resistência mecânica e resistência ao choque intermediária. Sendo bastante utilizado em componentes de uso mecânicos, como por exemplo em pinos guia, anéis de engrenagem, colunas, cruzetas, catracas, capas, eixos, coroas, virabrequins, eixos comando, pinos, guia, pinhões, engrenagens em geral (GGD METALS, 2015) (TENAX, 2017).

É uma liga destinada a utilização aplicações de cementação e carbonitretação. O níquel melhora as propriedade de tenacidade e ductilidade e o cromo e o molibdênio colaboram para aumentar a camada endurecida por cementação e a resistência ao desgaste. Com esta liga é possível a obtenção de dureza elevada na camada cementada combinado a alta resistência ao desgaste com uma resistência do núcleo da ordem de 860 MPa. A sua composição permite, ainda, uma boa usinabilidade (OGATA, 2003).

Os aços da série 86XX apresentam como elementos de liga principais o Cromo, o Níquel e o Molibdênio, em teores desde 0,40 a 0,60%Cr, 0,15 a 0,25%Mo e 0,40 a 0,70%Ni (SILVA; MEI, 2010) (ASM HANDBOOK, 1990).

A Tabela 3.1 apresenta a composição em porcentagem em peso.

Tabela 3.1 - Composição química do Aço SAE 8620

C	Mn	P	S	Si
0,18 – 0,23	0,70 – 0,90	0,035	0,045	0,15-0,35
Ni	Cr	Mo	V	
0,40-0,70	0,40 – 0,60	0,15 – 0,25	...	

Fonte: ASM Handbook (1990).

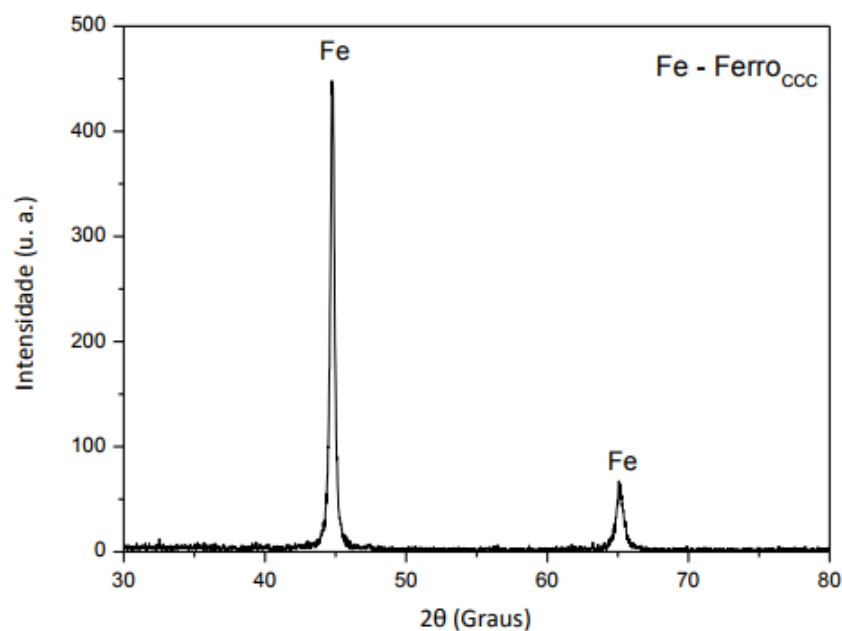
3.5.1 Difração de Raio-X

A técnica de Difração de raios-X é uma das mais indicadas na determinação das fases cristalinas presentes em materiais sólidos cristalinos. A determinação das fases só é possível quando os átomos estão dispostos de maneira ordenada. Sendo formada por planos cristalinos separados entre si, por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios-X. Quando um feixe de raio-X incide sobre um cristal, ocorre a interação com os átomos presentes na amostra, que vem a originar o fenômeno de difração (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

Os métodos de difração para determinação de tensão residual basicamente medem os ângulos nos quais ocorre a máxima intensidade de difração, quando um feixe de raio-X incide sobre a amostra. Destes ângulos, e utilizando-se da lei de Bragg obtêm-se o espaçamento interplanar dos parâmetros de rede irradiados. Os mais importantes parâmetros envolvidos na mecânica da difração de raios-x são descritos pela lei de Bragg (OGATA, 2003).

Vieira *et al.* (2015) realizou a caracterização do ferro puro obtido por metalurgia do pó a partir da difração de raio X e o resultado pode ser visto na Figura 3.20. Na qual pode-se observar os picos característicos do ferro CCC.

Figura 3.14 - Difratoograma de raios X do ferro obtido por mecanosíntese (moagem de alta energia)



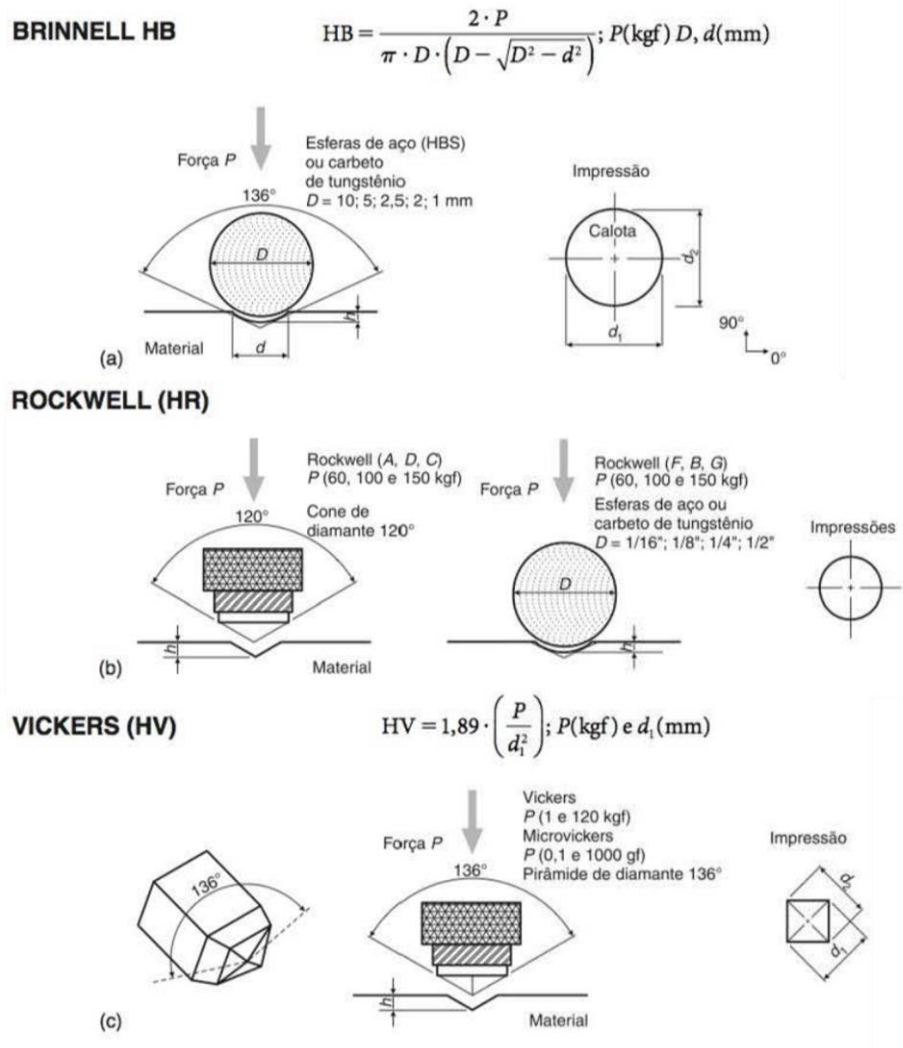
Fonte: Vieira et al. (2015)

3.5.2 Ensaio de dureza

O ensaio de dureza consiste na aplicação de uma carga na superfície, do material a ser analisado, por um penetrador padronizado, resultando em uma marca superficial ou impressão, conhecida como indentação. A dureza a ser medida é um resultado das características da indentação e da carga aplicada (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2012).

Existem diversos métodos de ensaios de dureza, que diferenciam entre si pelo formato padronizado do penetrador e as condições específicas de pré-carga e/ou carga. A Figura 3.15 apresenta os diferentes tipos de medições de dureza bem como os diferentes formatos de penetradores.

Figura 3.15 - Diferentes métodos e ensaios de dureza, escalas mais comuns



Fonte: Garcia, Spim e Santos (2012)

3.5.3 Ensaio de microdureza

O ensaio de microdureza é utilizado quando se tem amostra muito pequenas para o ensaio de dureza normal, além disso pode ser utilizado para determinar a dureza de fases ou constituintes do material (ASTM, 2017).

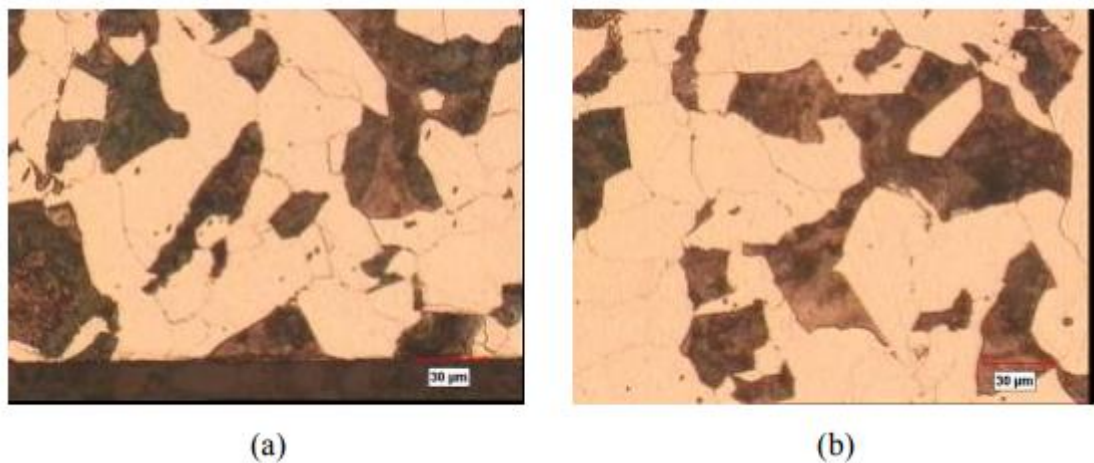
A máquina de ensaio deve apoiar a amostra e controlar o movimento indentador, um microscópio é utilizado para verificar o local do teste desejado, além de medir o tamanho da indentação resultante do teste (ASTM, 2017).

3.5.4 Microscopia Óptica

A metalografia microscópica, ou micrografia dos metais, é a técnica mais utilizada para a observação da microestrutura dos aços e ferros fundidos. Esta técnica visa o estudo dos produtos metalúrgicos a partir da determinação de seus constituintes e de sua textura, utilizando um microscópio. O princípio da metalografia consiste em aplicar uma luz visível sobre uma superfície sendo refletida até o observador, através do auxílio do microscópio, para isso é necessário a existência de uma superfície plana, previamente polida e, quando necessária, atacadas por um reativo adequado (COLPAERT, 2008).

Ogata (2003) apresentou a micrografia da seção transversal de um aço 8620 laminado a frio. A Figura 3.15 mostra a microestrutura do material, com grãos ASTM tamanho 5 e 6 uniformemente distribuídos, bem como a estrutura ferítica e perlítica sem a presença da bainita (OGATA, 2003).

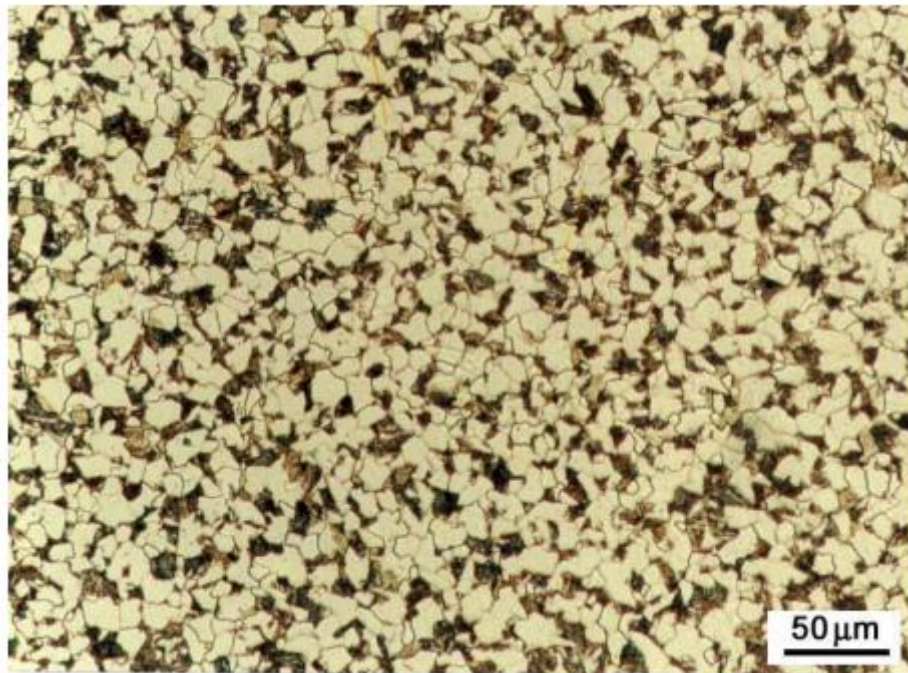
Figura 3.16 - Fotomicrografia da seção transversal. (a) - Periferia; (b) - Núcleo. Ataque com Nital a 3% (ácido nítrico PA, diluído em álcool), aumento de 100X.



Fonte: Ogata (2012)

A Figura 3.17 apresenta a micrografia do aço 8620 estudado por Silva (1997), que apresentou tamanho de grau de 10,0 ASTM, e microestrutura constituída de ferrita e perlita.

Figura 3.17 - Microestrutura do aço SAE 8620 como recebido. Direção transversal, região do meio raio. Áreas de ferrita (regiões claras) e perlita. Ataque Nital 2% e aumento de 280x



Fonte: Silva (1997)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O material a ser estudado foi cedido pela empresa Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda. A peça em questão é a camisa que compõem o conjunto do alargador de poço de petróleo. A Figura 4.1 apresenta a camisa do qual foram retiradas as amostras para o estudo.

Figura 4.1 - Camisa do Alargador cedido pela empresa



Fonte: Autoria própria (2017).

Para o estudo foram retiradas três amostras do material cedido pela empresa, em uma amostra foi realizada o estudo nela como recebido pela empresa, nas outras duas foram realizadas o tratamento térmico de têmpera, uma com resfriamento em água e outra com resfriamento em óleo. Na figura 4.2 é apresentada as amostras que foram submetidas ao tratamento térmico de têmpera. A amostra como recebida apresentou espessura de 11,40 mm e as amostras tratadas apresentaram espessura de 11,05 mm.

Figura 4.2 - Amostras retiradas do Material cedido pela empresa



Fonte: Autoria própria (2017).

Para este trabalho foram realizados a análise da microscopia óptica, ensaios de dureza e microdureza, difração de raios X e análise da composição química.

A metalografia, os ensaios de dureza e microdureza foram realizados no laboratório de ensaios e caracterização da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). A difração de raios X foi realizada no Centro de Síntese e Análise de Materiais Avançados – CSAMA do departamento de Física da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN). E a análise de composição química foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais – LACAM da Universidade Federal de Ceará (UFC).

4.1 Análise de composição química

Para a análise de composição química foi utilizado um espectrômetro da Shimadzu, modelo PDA-7000, utilizando a espectrometria de emissão óptica.

4.2 Difração de Raios X (DRX)

A difração foi realizada no Laboratório da CSAMA da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, sendo realizada em um Difratorômetro de Raios-X do fabricante Rigaku e modelo Miniflex II, utilizando-se radiação Cu-K α . Com 2θ variando de 40 a 80 °.

4.3 Análise Microscopia Óptica

Da camisa foram retiradas três amostras, duas delas foram submetidas ao tratamento térmico de têmpera, uma com resfriamento em óleo e a outra com resfriamento em água, a terceira não foi submetida a nenhum tratamento sendo realizado a análise na amostra conforme foi entregue pela empresa.

A têmpera foi realizada em um forno mufla da GP científica Modelo 2000-F com 3960 kW de potência, aquecendo as amostras a 950 °C, permanecendo durante 10 minutos no forno, e em seguida uma amostra foi resfriada em água a 30 °C e a outra resfriada em óleo para têmpera Quenchtex C.

A microscopia óptica foi realizada no laboratório de Ensaios e Caracterização da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Seguindo 5 passos.

1. Escolha e localização da seção a ser estudada.

As amostras foram retiradas do alargador de poço de petróleo a fim de aferir as dimensões necessárias para a realização da microscopia óptica, devido a geometria da camisa as amostras tiveram o formato de um arco, e a seção a ser estudada corresponde a transversal ao movimento de rotação do alargador.

2. Obtenção de uma superfície plana e polida.

As amostras foram então submetidas ao lixamento. A sequência de lixas utilizadas foi de granulometria 180, 220, 320, 400, 500, 600, 800, 1000 e 1200. Para o lixamento da foi utilizado uma lixadeira/politriz motorizada Arotec – Aropol 2V. Após o lixamento foi realizado o polimento das amostras com alumina 1µm.

3. Ataque da superfície por um reagente químico adequado.

Após o polimento foi realizado o ataque químico, utilizando o reagente químico Nital 5% (5ml de HNO₃ e 95ml de Álcool Etílico).

4. Análise microscópica para a observação da microestrutura.

As amostras com a superfície atacada foram então, levadas ao microscópio óptico e foi feito análise. Sendo utilizado o Microscópio Óptico Metalográfico da Olympus, modelo GX-51 com aumento de 50, 100, 200 500 e 1000 vezes.

5. Registro do aspecto observado (micrografia).

Por fim, foi utilizado o programa Anlysis getIT, que utiliza a uma câmera SC30 que retira as fotografias diretamente do microscópio.

4.4 Ensaio de dureza e microdureza

4.4.1 Ensaio de dureza

O ensaio de Dureza foi realizado nas três amostras no Durômetro Mitutoyo Modelo HR – 300 com visor digital, realizando 30 indentações para cada amostra. Com uma pré-carga de 98,07N (10kgf). Na amostra como entregue o ensaio foi realizado na escala Rockwell B, e as amostras temperadas foram realizadas na escala Rockwell C. Durante o ensaio foi utilizado a norma ASTM E18.

4.4.2 Ensaio de microdureza

Foi realizado o ensaio de microdureza Vickers nas três amostras sendo realizado 30 indentações para cada fase apresentada. Foi utilizando um Microdurômetro SHIMADZU M-1 com a carga selecionada de 490,3 mN e o tempo de permanência de 10 s. O penetrador utilizado foi piramidal de base quadrada (Vickers) de diamante e ângulo de 136°. Para a realização do ensaio de microdureza foi adotado a a norma ASTM E384 dispõe sobre o ensaio de microdureza.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise de composição química

O resultado da composição química realizada na amostra da camisa do alargador de poço de petróleo é apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Composição química da camisa do alargador de poço de petróleo.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0,19472	0,29180	0,83254	0,00729	0,01044	0,37334	0,49883
Mo	Cu	Nb	Al	V	Ti	Fe
0,15740	0,19614	0,0023	0,5378	0,00469>	0,00437	97,374

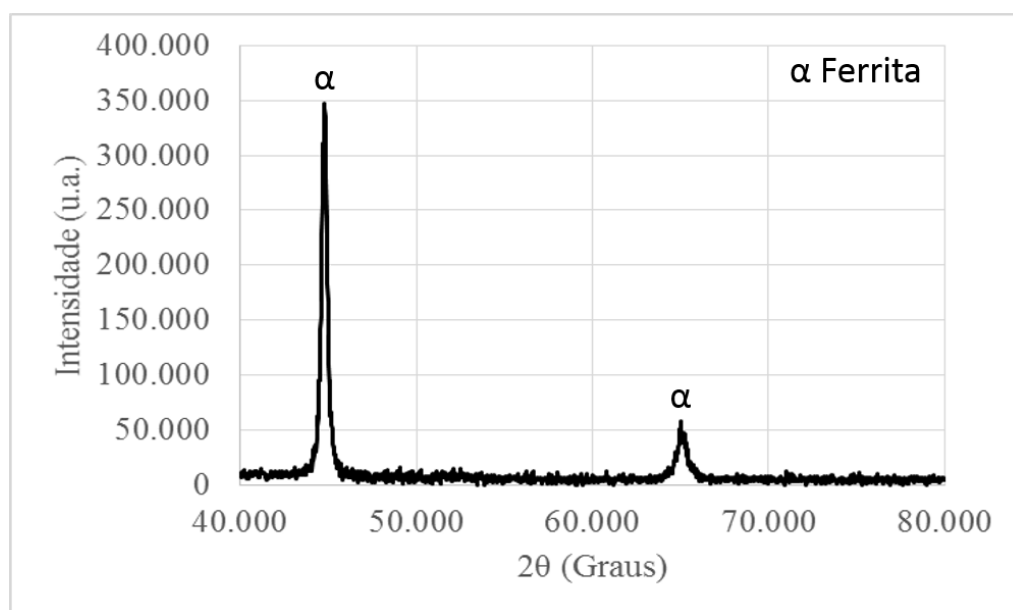
Fonte: Autoria própria (2017).

Para a análise dos resultados foi utilizado volume 1 do ASM Handbook (1990), que dispõe sobre as propriedades dos aços e ferros fundidos. Com o volume 1 do ASM Handbook (1990) e os resultados foi possível comparar a composição da camisa com as composições padrões dos aços comuns, constatando que o material da camisa é o aço SAE 8620.

5.2 Difração de Raios X (DRX)

O resultado da difração de Raio X da amostra retirada da camisa pode ser observado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Difratoograma de raios X da amostra da camisa de um alargador de poço de petróleo



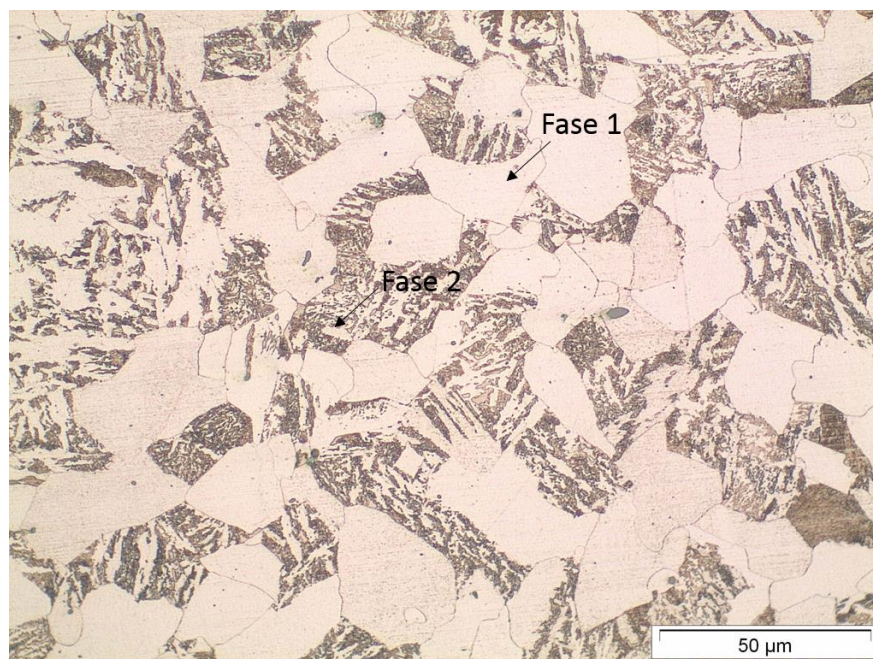
Fonte: Autoria própria (2017).

A Figura 5.1 apresenta dois picos bem definidos em aproximadamente 2θ igual a 45 e 65 ° respectivamente. Ao comparar os picos apresentados na Figura 5.7 com os apresentados por Vieira et al. (2015) podemos concluir que os picos da Figura 5.7 são referentes aos picos característicos do Fe α , uma vez que a amostra apresenta elevada composição de ferro.

5.3 Análise Microscopia Óptica

Metalografia foi realizada nas três amostras da camisa, sendo uma como entregue, duas submetida ao tratamento térmico de têmpera uma com resfriamento em água e outra com o resfriamento em óleo. Na Figura 5.2 é apresentada a micrografia da amostra retirada da camisa como recebido com aumento de 500 vezes.

Figura 5.2 - Micrografia da camisa como entregue, aumento de 500 vezes.

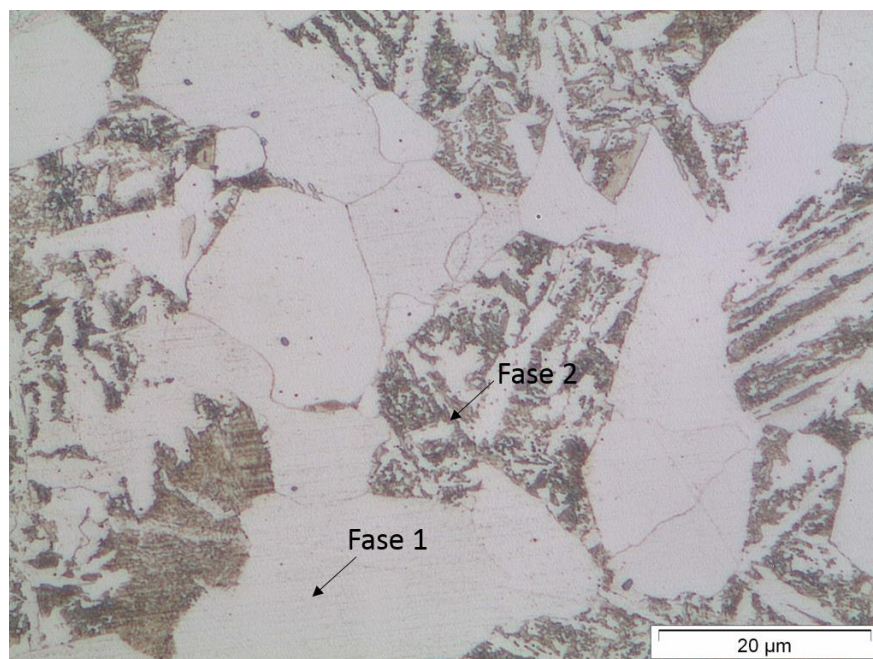


Fonte: Autoria própria (2017).

A Figura 5.3 mostra a micrografia da camisa como entregue com um aumento de 1000 vezes.

Nas Figuras 5.2 e 5.3 é possível perceber a presença de duas fases bem definidas, fase 1 e fase 2. Além disso podemos perceber que a micrografia apresenta semelhança na microestrutura típica de um aço baixo carbono (hipoeutetóide), apresentando fases semelhantes a microestrutura ferrita (fase 1) e a microestrutura perlita (fase 2) com grãos equiaxiais,

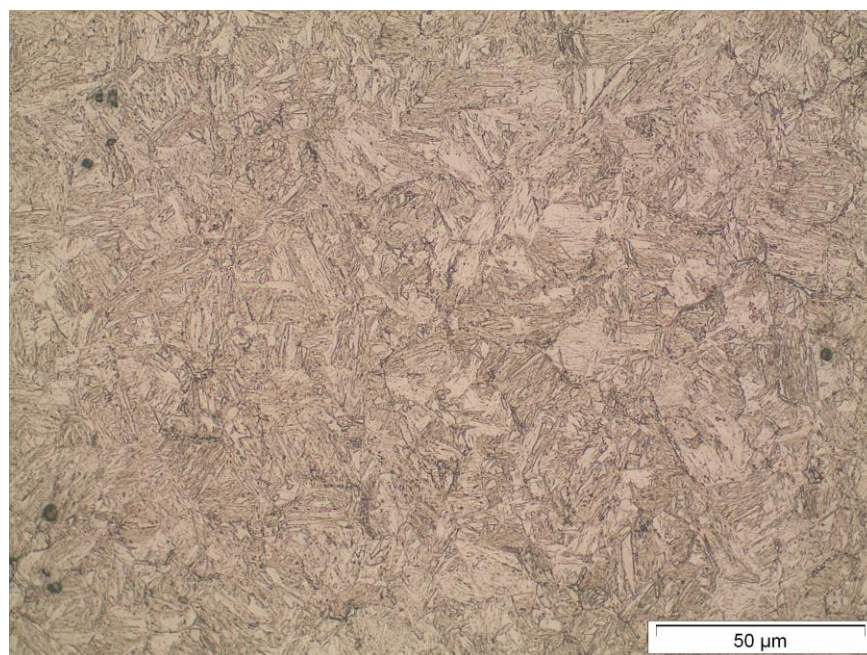
Figura 5.3 - Micrografia da camisa como entregue, aumento de 1000 vezes.



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Figura 5.4 é apresentada a micrografia da amostra retirada da camisa que foi submetido ao tratamento térmico de têmpera e resfriado em água com aumento de 500 vezes.

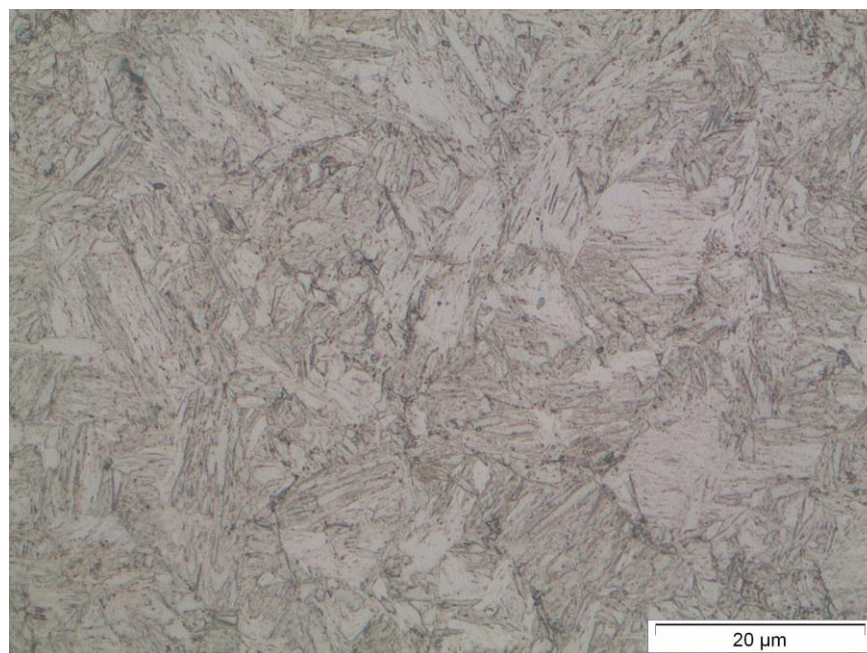
Figura 5.4 - Micrografia da camisa após tratamento de têmpera com resfriamento em água, aumento de 500 vezes



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Figura 5.5 é mostrada a micrografia da amostra, submetida ao tratamento térmico de têmpera com resfriamento em água com um aumento de 1000 vezes.

Figura 5.5 - Micrografia da camisa após tratamento de tempera com resfriamento em água, aumento de 1000 vezes

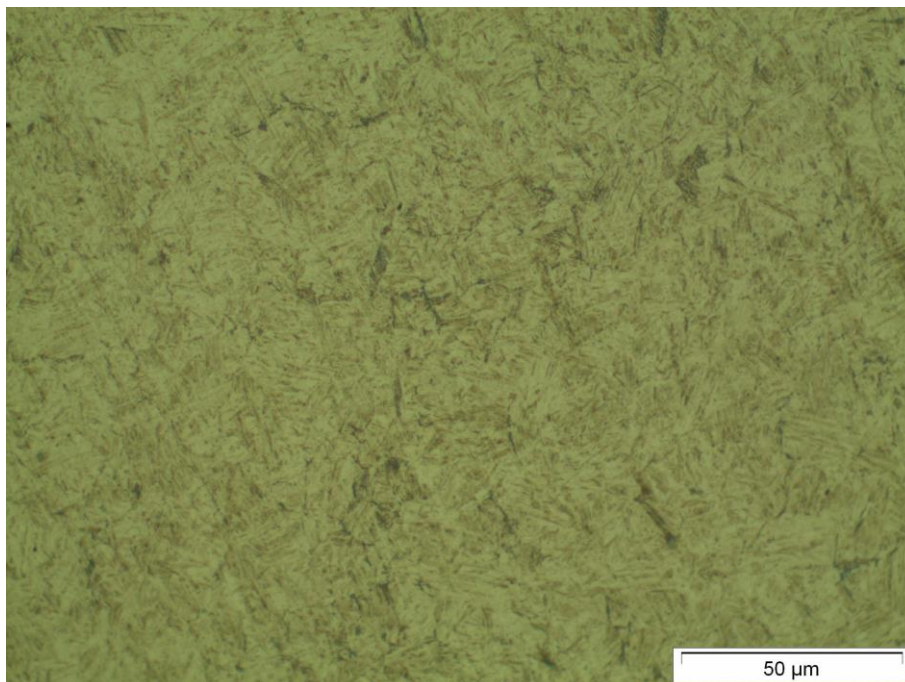


Fonte: Autoria própria (2017).

As Figuras 5.4 e 5.5, apresentaram as micrografias da amostra temperada em água, apresentando uma única fase distinta e bastante homogênea.

A Figura 5.6 é apresenta a micrografia da amostra da camisa, que foi submetido ao tratamento térmico de têmpera e resfriado em óleo com aumento de 500 vezes.

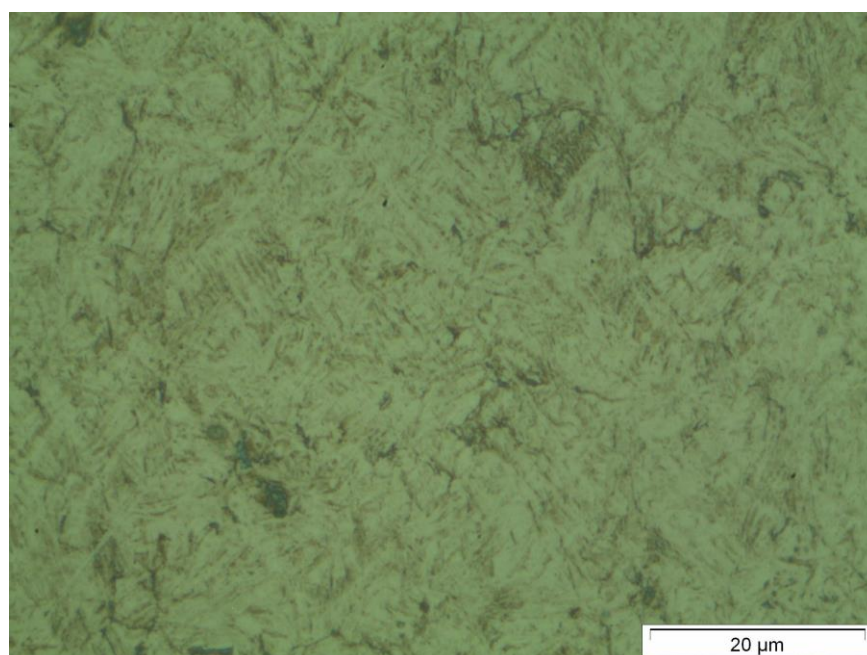
Figura 5.6 - Micrografia da camisa após tratamento de tempera com resfriamento em óleo, aumento de 500 vezes



Fonte: Autoria própria (2017).

Na Figura 5.7 é mostrada a micrografia da amostra retirada da camisa, submetida ao tratamento térmico de têmpera e resfriado em óleo com aumento de 1000 vezes.

Figura 5.7 - Micrografia da camisa após tratamento de tempera com resfriamento em óleo, aumento de 1000 vezes



Fonte: Autoria própria (2017).

As Figuras 5.6 e 5.7 apresentaram as micrografias da amostra temperada em óleo, na qual pode-se observar a homogeneidade dos grãos, além de apresentar uma única fase definida.

5.4 Ensaio de dureza e microdureza

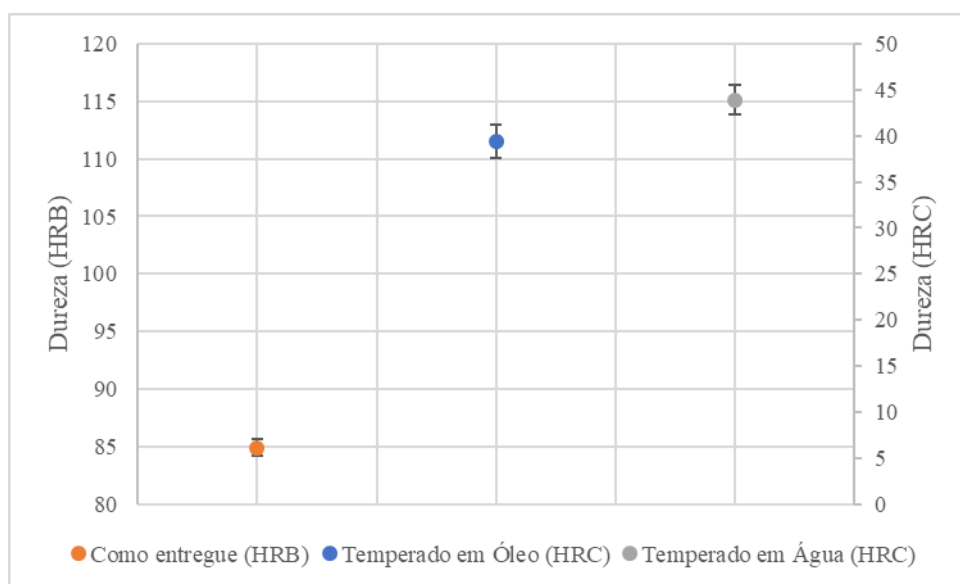
O material está submetido a grande desgaste mecânico, a têmpera surge como alternativa para o aumento da dureza e, por conseguinte a resistência ao desgaste mecânico. Como não se tinha o conhecimento do material da camisa, foi realizada a têmpera com diferentes meios de resfriamentos, um resfriamento mais severo, em água, e outro com resfriamento moderado, em óleo.

5.4.1 Ensaio de dureza

O ensaio de dureza foi realizado nas três amostras, sendo que na como entregue devido à baixa dureza o ensaio foi medido em HRB usando o indentador de esfera, já nas demais foi realizado a medição na escala HRC com o indentador cônico de diamante.

Para este ensaio foram realizadas 30 indentações em cada amostra. Os resultados são apresentados na Figura 5.8, a tabela também apresenta as médias convertidas para a escala Vickers. A amostra como entregue apresentou dureza média de 84,90 HRB e desvio padrão de 0,69 HRB. A amostra temperada em óleo apresentou dureza 39,40 HRC e desvio padrão de 1,80 HRC. A amostra temperada em água apresentou dureza de 43,91 HRC e desvio padrão de 1,56 HRC. As amostras temperadas apresentaram maior dureza em relação a amostra como entregue, o que já era esperado uma vez que o tratamento de tempera é um tratamento cujo objetivo é aumentar a dureza do material. Além disso a dureza da amostra temperada em água foi superior a dureza da amostra temperada em óleo, uma vez que a taxa de resfriamento em água é superior à taxa de resfriamento em óleo.

Figura 5.8 - Resultados de dureza para as amostras como entregue, temperada em óleo e temperada em água



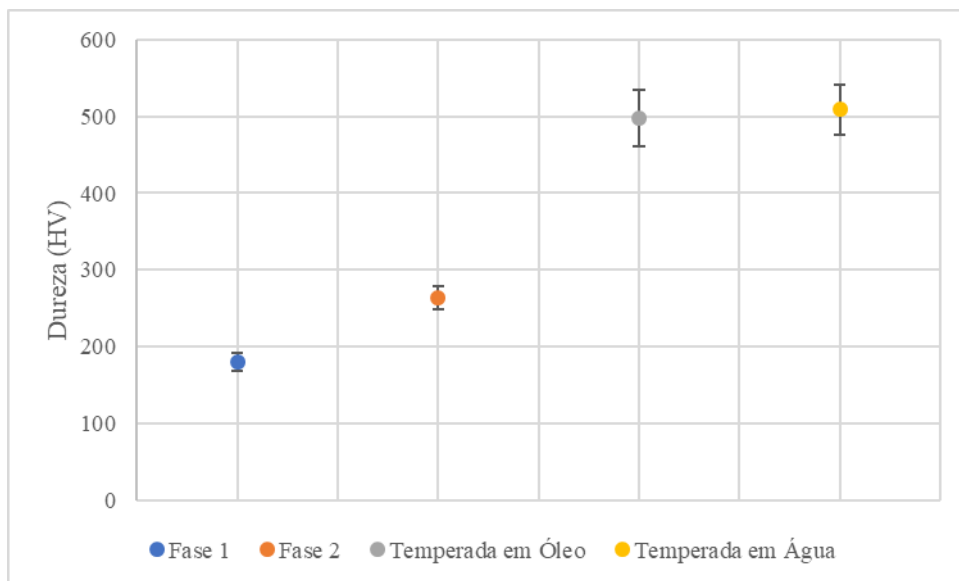
Fonte: Autoria própria (2017).

5.4.2 Ensaio de microdureza

O ensaio de microdureza também foi realizado nas três amostras, realizando a medição na escala Vickers com indentador piramidal de base quadrada de diamante.

Para este ensaio foram realizadas 30 indentações em cada fase da amostra. As amostras temperadas apresentaram apenas uma fase bem definida, entretanto a amostra como entregue apresentou duas fases distintas chamadas de fase 1 e fase 2. Os resultados são apresentados na Figura 5.9. A fase 1 da amostra como entregue apresentou dureza média de 180,33 HV e desvio padrão de 11,87 HV. A fase 2 da amostra como entregue apresentou dureza média de 263,53 HV e desvio padrão de 15,20 HV. A amostra temperada em óleo apresentou dureza média de 497,43 HV e desvio padrão de 37,03 HV. A amostra temperada em água apresentou dureza média de 509,37 HV e desvio padrão de 32,57 HV. Novamente as amostras temperadas apresentaram maior dureza em relação a amostra como entregue e a amostra temperada em água apresentou a maior dureza visto que a taxa de resfriamento em água é superior à taxa de resfriamento em óleo.

Figura 5.9 - Resultados de microdureza para as amostras como entregue, temperada em óleo e temperada em água



Fonte: Autoria própria (2017).

As fases 1 e 2 apresentaram durezas bem distintas, a fase 1 apresentou dureza inferior a fase 2, como a amostra apresenta elevada composição de Ferro pode-se concluir que a fase 1 trata-se da Ferrita, ou ferro α . Já a fase 2 apresentou dureza mais elevada, portanto esta fase é a fase rica em carbono.

A proximidade dos valores de dureza e microdureza para as amostras temperadas, determina que o tratamento de tempera pode ser realizado tanto água como em óleo. O tratamento térmico se mostra uma boa solução para o desgaste mecânico sofrido durante o processo de perfuração do poço de petróleo, uma vez que o ganho de dureza é bastante elevado. Devido ao tratamento de revenimento a dureza final deverá sofrer uma queda, no entanto mesmo com a redução, a dureza deve ser suficiente para aumentar a resistência ao desgaste que a peça é submetida.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada a caracterização de uma amostra da camisa de um alargador de poço de petróleo cedida pela empresa Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda. Durante o processo de perfuração o alargador está submetido a grande desgaste mecânico, portanto com a caracterização do material é possível traçar um plano para aumentar a resistência ao desgaste mecânico, aumentando a vida útil do equipamento.

A caracterização foi realizada a partir da análise da microscopia óptica, dos ensaios de dureza e microdureza, da difração de raios X e da composição química. Após a realização desta análise foi possível concluir que:

- Na análise de composição química foram obtidos os valores da porcentagem de cada elemento que compõem o aço. Assim baseado no volume 1 do ASM Handbook (1990), pode-se concluir que o aço em questão se trata do aço SAE 8620.
- Com análise de difração de raios X foi possível traçar o difratograma da amostra. Ao comparar com a literatura pode-se concluir que os picos apresentados são característicos do ferro α , uma vez que a amostra apresenta elevada composição de ferro.
- Na análise da metalografia microscópica foram obtidas as micrografias das amostras como entregue e temperadas em água e óleo, podendo-se observar as diferenças de fases apresentadas. A amostra como entregue apresentou duas fases distintas, uma fase com características da ferrita e a outra fase rica em carbono, e as amostras temperadas só apresentou uma única fase homogênea.
- No ensaio de dureza e microdureza foram apresentadas as durezas e microdurezas das três amostras da camisa, com os ensaios foi possível perceber que após os tratamentos térmicos houve um aumento da dureza, uma vez que a média da dureza antes dos tratamentos era de 84,90 HRB e passou a ser 39,40 HRC na temperada em óleo e 43,92 HRC na temperada em água. Dessa forma é possível realizar um tratamento térmico, para aumentar a resistência ao desgaste da peça.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E18**: Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. West Conshohocken: ASTM International, 2017. 38 p. v. 03.01.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E384**: Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials. West Conshohocken: ASTM International, 2017. 40 p. v. 03.01.

ASM Handbook, Volume 1, **Properties and Selection**: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, ASM International (American Society for Metals), Metals Park, Ohio, USA, 10th ed. 1990.

CALLISTER Jr, William D.; RETHWISCH, David G.. **Ciência Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012. 817 p.

CANGZHOU Lockheed Petroleum Machinery Co., Ltd. Disponível em: <http://pt.made-in-china.com/co_lockheedconebit/product_New-Single-Cone-Drill-Bits-for-Oil-Drilling-and-Mining_esreouruy.html>. Acesso em: 30 out. 2016.

CARDOSO, Luiz Cláudio. **Petróleo: do poço ao posto**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 7. ed. São Paulo: Abm, 2008. 599 p.

ĐINH, Nam Vũ. **DRILLING STRING**. 2015. Disponível em: <<http://drillingtool-technologies.blogspot.com.br/2015/11/drilling-string.html>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

ECONOMIDES, Michael J.; WATTERS, Larry T.; DUNN-NORMAN, Shari. **Petroleum Well Construction**. Duncan: Wiley, 1998. 640 p.

GGD METALS, **SAE 8620**. 2015. Elaborado por GGD Metals.. Disponível em: <<http://www.ggdmetals.com.br/produto/sae-8620/>>. Acesso em: 05 out. 2017.

GUIMARÃES, J. R. C.. Conceituação, cinética e morfologia da transformação martensítica em aços. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales**, Caracas, v. 1, n. 1, p.3-9, jun. 1981.

HEJIAN BAINAS. **Drilling Equipment Co. Ltd.** Disponível em: <<http://www.globalsources.com/si/AS/Hejian-Bainas/6008844807878/pdtl/Diamond-Bit/1055980067.htm>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

KAMYSHIN DRILLING. Drilling pipes and their couplings. Disponível em: <<http://kzbi.ru/en/products/DrillingTools/DrillPipes>>. Acesso em: 30 out. 2016.

MALOUF, Leonardo Rezende. **Análise das operações de perfuração de poço terrestres e marítimos**. 2013. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MATHIAS, Victor Machado. **COLUNA DE PERFURAÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO**. 2016. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

OGATA, Humberto Toshiaki da Silva. **DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS TENSÕES RESIDUAIS NAS PROPRIEDADES DE FADIGA EM AÇO SAE 8620 PROCESSADO COM DIFERENTES PROFUNDIDADES DE CAMADA DE CEMENTAÇÃO**. 2003. 141 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

PLÁCIDO, João Carlos Ribeiro; PINHO, Rodrigo. **Brocas de perfuração de poços de petróleo**. 2009. 63 f. Rio de Janeiro, 2010.

RASMA, Eline Tourinho. **CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E MECÂNICA DO AÇO AISI/SAE 4140 TRATADO SOB DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Goytacazes, 2015.

ROBERT GROOT. **Industrial-grade diamonds**: the applications of low quality diamonds. Disponível em: <<http://www.diamondland.be/industrial-grade-diamonds-applications-low-quality-diamonds/>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

ROCHA, Luiz Alberto Santos; AZEVEDO, Cecilia Toledo de. **Projetos de poços de petróleo**: Geopressões e Assentamento de Colunas de Revestimento. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

SCHLUMBERGER. **Dual-Reamer Rathole-Elimination RSS BHA Saves 1.5 Drilling Days, USD 425,000 for Statoil**. 2016. Disponível em: <http://www.slb.com/~media/Files/smith/case_studies/eaf_rhino_rhe_norway_cs.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2016.

SCHLUMBERGER. **Drilling Tools Catalog**. Disponível em: <http://www.slb.com/~media/Files/smith/catalogs/drilling_tools_catalog.ashx>. Acesso em: 07 nov. 2016.

SCHLUMBERGER. **Equipment Sales Catalog**. 2017. Disponível em: <http://www.slb.com/~media/Files/smith/catalogs/drilling_tools_catalog.pdf?la=en&hash=0F2C0EC9D53B270813D7D149278F18F7F27F4DA5>. Acesso em: 24 out. 2017.

SCHLUMBERGER. **OnGauge**: Torque-reduction sealed-bearing roller reamer. Disponível em: <http://www.slb.com/~media/Files/smith/brochures/tools_services/ongauge_br.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2016.

SHAREATE. **Brocas Tricônicas**: Brocas Tricônicas com carboneto de tungstênio para aplicações e poços de água com a melhor relação custo x benefício do mercado. 2017. Disponível em: <<http://sidrasul.com.br/produtos/solucoes-em-perfuracao/brocas-triconicas/>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

SILVA, André Luiz V. da Costa e; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**. 2. ed. Sumaré: Blucher, 2006. 669 p.

SILVA, Valdinei Ferreira da. **INFLUÊNCIA DA AUSTENITA RETIDA NO CRESCIMENTO DE TRINCAS CURTAS SUPERFICIAIS POR FADIGA EM CAMADA CEMENTADA DE AÇO SAE 8620**. 1997. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciencia e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

TENAX. **SAE 8620**. 2017. Disponível em: <<http://www.tenax.com.br/tenax/produtos/acos-para-construcao-mecanica/sae-8620/>>. Acesso em: 24 out. 2017.

TEXAS DRILLING TOOL LLC. **Drill Pipe Rotary Slips**. 2015. Disponível em: <<http://www.texasdrilltools.com/Products/RotarySlip.html>>. Acesso em: 29 out. 2016.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

VIEIRA, Débora Albuquerque et al. **PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE NÚCLEO DE FERRO PURO OBTIDO POR METALURGIA DO PÓ PARA APLICAÇÃO COMO CAPTADOR EM ENERGY HARVESTING**. Holos, [s.l.], v. 3, p.74-81, 24 jul. 2015. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2015.2655>.

ANEXO I – RESULTADO DAS INDENTAÇÕES DO ENSAIO DE DUREZA DAS AMOSTRAS COMO ENTREGUE, TEMPERA EM AGUA E TEMPERADA EM ÓLEO.

Tabela 1 - Medições de dureza nas amostras como entregue, tempera em água e temperada em óleo.

Tempera em Óleo		Tempera em Água		Como entregue	
Medição	HRC	Medição	HRC	Medição	HRB
1	35	1	42,7	1	84,4
2	38,5	2	40,1	2	85,8
3	41	3	39,5	3	84,7
4	38,7	4	45,1	4	84,6
5	40,5	5	45,7	5	85,3
6	41,5	6	45,4	6	84,9
7	40,8	7	45	7	84,7
8	42,4	8	46,4	8	85,7
9	40,9	9	43,4	9	85,4
10	36,6	10	43,5	10	86,2
11	42,5	11	43,4	11	84,8
12	42,3	12	42,6	12	86,4
13	40,2	13	42,7	13	83,8
14	40,2	14	44,5	14	84,3
15	39,9	15	43,3	15	84,2
16	37,6	16	43,9	16	84,8
17	38,1	17	45,7	17	84,9
18	36,5	18	46,4	18	85,3
19	39,7	19	42,6	19	86,4
20	39,8	20	43,1	20	85,2
21	39,8	21	44,5	21	84,7
22	39,9	22	44	22	83,8
23	38,8	23	43,5	23	84,2
24	37,7	24	43,9	24	84,6
25	37,3	25	45	25	84,3
26	38	26	45,2	26	84,9
27	39,3	27	45	27	84,6
28	40	28	43,9	28	84,9
29	39,3	29	43,9	29	84
30	39,3	30	43,6	30	85,1

Fonte: Autoria própria (2017).

ANEXO II – RESULTADO DAS INDENTAÇÕES DO ENSAIO DE MICRODUREZA DAS AMOSTRAS COMO ENTREGUE, TEMPERA EM AGUA E TEMPERADA EM ÓLEO.

Tabela 2 - Medições de microdureza nas amostras como entregue, tempera em água e temperada em óleo.

Tempera em Óleo		Tempera em Água		Como entregue			
				FASE 1		FASE 2	
Medição	HV	Medição	HV	Medição	HV	Medição	HV
1	442	1	559	1	176	1	239
2	448	2	556	2	198	2	277
3	476	3	518	3	195	3	247
4	465	4	562	4	198	4	266
5	483	5	449	5	186	5	277
6	479	6	445	6	164	6	231
7	463	7	432	7	161	7	288
8	465	8	504	8	170	8	282
9	461	9	504	9	168	9	266
10	461	10	529	10	164	10	277
11	496	11	549	11	178	11	264
12	578	12	543	12	200	12	266
13	534	13	521	13	188	13	240
14	570	14	507	14	162	14	263
15	479	15	491	15	186	15	286
16	479	16	484	16	188	16	286
17	479	17	518	17	189	17	256
18	545	18	515	18	199	18	267
19	541	19	536	19	178	19	266
20	523	20	526	20	172	20	263
21	523	21	492	21	177	21	267
22	503	22	479	22	178	22	254
23	510	23	498	23	172	23	251
24	548	24	486	24	176	24	260
25	518	25	495	25	168	25	235
26	498	26	528	26	192	26	262
27	479	27	524	27	192	27	264
28	479	28	524	28	187	28	255
29	543	29	479	29	174	29	285
30	455	30	528	30	174	30	266

Fonte: Autoria própria (2017).