



**Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Física Gleb Wataghin - IFGW**

F 809

Instrumentação para Ensino de Física



Relatório Final

**Efeito de Tratamentos Térmicos nas Propriedades Mecânicas
de Uma Liga de Titânio**

Aluno: Rodrigo José Contieri

RA 019314

Coordenador: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

Orientador: Prof. Dr. Rubens Caram Junior

1. Resumo

Técnicas de tratamento térmico são de fundamental importância para o desenvolvimento de um conjunto de características desejáveis em ligas metálicas. Tais técnicas consistem em impor numa liga metálica, variações de temperatura que possibilitem transformações de fase, principalmente mudanças de estrutura cristalina, obtendo assim mudanças de suas propriedades.

Esse experimento foi elaborado visando obter e observar mudanças estruturais e conseqüentemente, mudanças nas propriedades mecânicas de uma liga. Para isso, uma liga de titânio contendo 25% em peso de nióbio foi preparada em forno de fusão a arco-voltáico com atmosfera controlada. Após a preparação das amostras em número suficiente, as ligas foram submetidas a tratamento térmico de homogeneização seguido de solubilização e envelhecimento. A avaliação dos resultados obtidos foi feita por meio de difração de raios X e determinação de dureza. Através deste experimento, comprovamos que as propriedades mecânicas de uma liga que foi submetida a um tratamento térmico podem ser alteradas de maneira significativa.

2. Introdução

Uma das áreas de maior importância na aplicação de “novos materiais”, refere-se a medicina, em particular, aos biomateriais utilizados em implantes ortopédicos. Como resultados de acidentes, doenças, ou desgaste natural, partes do corpo humano podem necessitar de substituição. Em tal situação, o problema pode ser resolvido ou amenizado, pelo uso de implantes de materiais estranhos ao corpo.

A área de biomateriais é muito recente para que a história da mesma seja elaborada. Porém, os romanos, os chineses e os astecas já utilizavam o ouro há milhares de anos em reparos dentais. Apesar disso, o desenvolvimento dos materiais, dentro de padrões científicos, apenas se iniciou no século passado, com a realização de experimentos com animais. Mais tarde, com a deflagração das duas grandes guerras, e com a necessidade de

tratar feridos, o campo de estudos ligados à concepção de materiais utilizados em implantes teve uma importante evolução. Destaca-se nessa época a introdução de titânio puro ou na forma de liga no reparo ou substituição de ossos fraturados.



Figura 2.1. Técnica antiga de Implante de Ouro

Um exemplo de utilização com sucesso dos biomateriais, são os implantes ortopédicos na recomposição de funções exercidas por ossos e articulações, como próteses totais de quadril. A figura 2.2. ilustra uma prótese total de quadril.



Figura 2.2. Prótese Total de quadril

Dentre os materiais mais utilizados na fabricação da haste de uma prótese total de quadril destacam-se as ligas de titânio. O titânio puro exibe resistência a corrosão excelente. Porém, sua resistência mecânica não é considerada elevada quando se trata de implantes ortopédicos sujeitos a elevados níveis de solicitação mecânica. Nesse caso, com o objetivo de modificar suas propriedades, outros elementos são adicionados ao titânio. Além da composição, tratamentos térmicos permitem obter uma ampla gama de variações microestruturais, o que certamente repercute em suas propriedades.

Importância Didática e Originalidade

O trabalho tem grande importância didática, pois aborda aspectos práticos e teóricos da física que são exigidos em várias disciplinas do curso, tais como: a. Aspectos da estrutura cristalina, b. Fusão e tratamentos térmicos sob atmosferas controladas por sistemas de vácuo e c. A avaliação das amostras através de técnicas de difração de raios-X.

Esse projeto é baseado em técnicas comumente utilizadas no setor produtivo e em centros de pesquisas empenhados no desenvolvimento e aperfeiçoamento de ligas metálicas e novos materiais. É importante ressaltar também, que tal projeto utilizará uma liga à base de titânio, com potencial para aplicação como biomaterial aplicado em implantes ortopédicos.

3. Teoria

3.1. A liga de Titânio

3.1.1. Transformação de Fase

Uma das características mais importantes do titânio é a transformação alotrópica que ele sofre a 882,5 °C, quando muda sua estrutura cristalina hexagonal compacta (denominada fase α) para uma estrutura cúbica de corpo centrado (denominada fase β).

A temperatura de transformação é função do conteúdo da liga e, é fortemente influenciada por elementos intersticiais, como B, C, O e N, que junto com metais dos grupos III A e IV A (por exemplo Al, Ga e Sn), são denominados α -estabilizadores (ou alfa-gênicos) e, quando adicionados ao titânio puro, promovem o aumento da temperatura de transformação de fase α para a fase β . Já a adição de metais, tais como Mo, V, Mn, Fé, Cu, Cr, Nb e Ta diminuem a temperatura desta transformação e, estes elementos são denominados β -estabilizadores (ou beta-gênicos). A influência da adição de elementos α e β -estabilizadores é exemplificada na figura 3.1 através do sistema Ti-Nb.

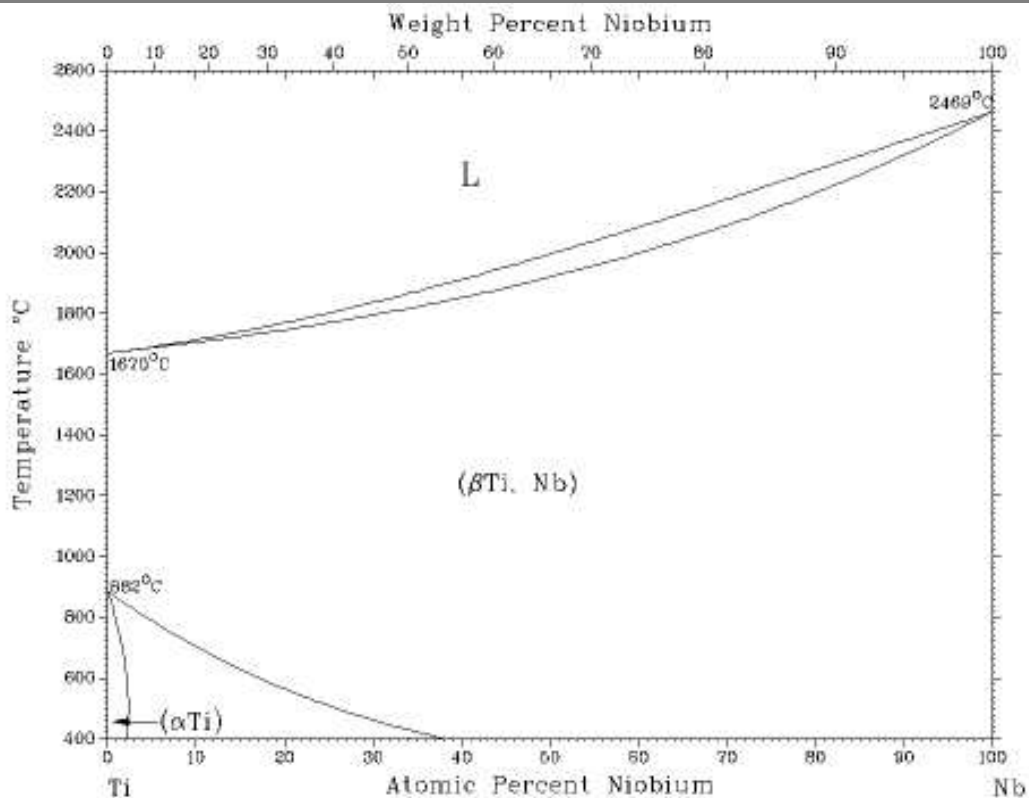


Figura 3.1. Diagrama de Equilíbrio Ti-Nb

É basicamente, na manutenção de uma ou outra fase em equilíbrio termodinâmico que se baseia a adição de elementos de liga. Através de tratamentos térmicos ou termodinâmicos pose-se obter grandes variações microestruturais e, conseqüentemente, alterar de maneira significativa suas propriedades.

3.1.2. Propriedades das Ligas de Titânio

As propriedades mecânicas das ligas de titânio são influenciadas, principalmente, por suas composições químicas, processos de deformação e tratamentos térmicos a que são submetidas. Logo, a microestrutura destas ligas afeta, significativamente, o comportamento mecânico das mesmas.

O titânio puro tem excepcional resistência a corrosão. Esta característica também é conferida a suas ligas, embora elas não sejam tão resistentes quanto o titânio puro. O titânio

e suas ligas possuem excelente relação resistência/peso, rigidez/peso, propriedades em altas temperaturas, resistência a corrosão, boa resistência à fadiga, resistência mecânica, ductilidade, tenacidade à fratura, e em alguns casos, excelentes propriedades criogênicas.

3.2. Ligas Naturais - Meteoritos

Meteoron, termo que vem do grego e significa fenômeno no céu. É usado para descrever a faixa de luz produzida quando matéria do sistema solar cai na atmosfera terrestre criando uma incandescência temporária resultante da fricção na atmosfera. Isto ocorre tipicamente a alturas de 80 a 110 quilômetros acima da superfície da Terra. O termo também é usado livremente com a palavra meteoróide referindo-se à própria partícula sem relação com o fenômeno que produz ao entrar na atmosfera terrestre. Um meteoróide é a matéria que gira em volta do Sol ou qualquer objeto do espaço interplanetário que é pequeno demais para ser chamado asteróide ou cometa. Um meteorito é um meteoróide que atinge a superfície da Terra sem ser completamente vaporizado.

Um dos primeiros objetivos ao estudar meteoritos é determinar a sua história e origem dos corpos que lhes deram origem. Diversas amostras de acondritos, encontradas na Antártida desde 1981, mostram conclusivamente que tiveram origem na Lua tendo como base semelhanças na composição das rochas lunares obtidas pelas missões Apollo de 1969-1972. A origem de outros meteoritos permanece sem comprovação, apesar de se suspeitar que um outro conjunto de oito acondritos terem a sua origem em Marte. Estes meteoritos contêm gases atmosféricos capturados em minerais fundidos que condizem com a composição da atmosfera marciana, conforme foi medida pelas sondas Viking em 1976. Presume-se que todos os outros grupos tiveram origem em asteróides ou cometas; crê-se que a maioria dos meteoritos são fragmentos de asteróides. Assim, um meteorito é um corpo extra-terrestre, partes de asteróides ou cometas, que alcança a superfície da Terra.

Ao contrário dos meteoros (popularmente chamado de estrela cadente) os meteoritos que atingem a superfície da Terra não são consumidos completamente pelo fogo decorrente com o atrito da atmosfera. Os mais comuns são sem mistura compostos por condritos, podendo também conter partículas de ferro. Os meteoritos metálicos são constituídos por ferro (90% aproximadamente) e níquel (18% aproximadamente), podendo

conter outros elementos em menor proporção. Logo, concluímos que ligas metálicas, não são somente formadas em condições de laboratório, a natureza também é capaz.

3.3. Difração de Raio-X

Nos últimos anos a aplicação do Raio-X tem sido extremamente ampla. Ele vem sendo empregado intensamente nos laboratórios de pesquisa, nas indústrias e nos hospitais.

Os métodos de difração (difração de raios-X, difração de nêutrons e difração de elétrons) são de grande importância na análise microestrutural, pois estes métodos fornecem informações sobre a natureza e os parâmetros do reticulado, assim como detalhes a respeito do tamanho, da perfeição e da orientação dos cristais.

Na técnica de difração de raios-X, ondas eletromagnéticas de alta frequência são selecionadas para alcançar um comprimento de onda menor que o espaçamento interplanar dos cristais. Ao incidirem em cristais, estas ondas são difratadas de acordo com leis físicas e os ângulos de difração permitem descrever a estrutura dos cristais com alto grau de precisão e segurança. A partir da difração de raios-X, pode-se determinar espaçamentos interplanares e raios atômicos em metais com precisão.

Para a produção de raios-X para difração é necessário a aplicação de alta voltagem entre um cátodo e um ânodo, ambos colocados em vácuo. O cátodo é aquecido e elétrons são liberados por emissão termo-iônica e acelerados no vácuo devido a alta diferença de potencial entre cátodo e o eletrodo. Quando os elétrons colidem com o alvo, há a emissão de raios-X. a aceleração dos elétrons provoca um calor na colisão dos mesmos com o alvo, que necessita, portanto, de resfriamento externo.

Quando os raios-X encontram um material cristalino, são difratados pelos planos atômicos (ou iônicos) dentro do cristal. O ângulo de difração θ , depende do comprimento de onda λ dos raios-X e da distância d entre os planos, de acordo com a lei de Bragg para a condição de interferência construtiva, isto é, produção de pico de difração devido a radiação:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (\text{lei de Bragg}),$$

onde n é a ordem de difração. Como na maioria dos casos utiliza-se difração de primeira ordem, pode-se adotar $n=1$.

De posse dos ângulos de Bragg correspondentes e suas intensidades relativas, tem-se condições de determinar a estrutura cristalina e até mesmo identificar o material, consultando-se os arquivos cristalográficos existentes na literatura.

4. Procedimento Experimental

4.1. Preparação da Liga de Titânio

A preparação da liga foi dividida em duas partes: preparação dos materiais constituintes e preparação dos lingotes. Sendo a primeira parte de fundamental importância para a realização da segunda.

4.1.1. Preparação dos Materiais constituintes

Os constituintes da liga de titânio, ou seja, nióbio e titânio, são metais de pureza química elevada, que após um tempo grande em contato com a atmosfera ambiente sofrem oxidação. No entanto, o processo para a limpeza dos materiais (processo de decapagem) foi realizado somente com o Titânio, pois este, é o material que mais tem afinidade com o oxigênio e além do mais, o Nióbio utilizado para o experimento, era na forma de pó, portanto, desnecessária sua decapagem.

O processo de decapagem consiste na imersão do metal puro em uma solução por aproximadamente 10 segundos ou até a sua superfície ficar livre de impurezas. Para tal processo, foi utilizada uma solução (em volume) de: uma parte em água destilada, uma parte de HF concentrado e 1 parte de HNO_3 concentrado.

Após este processo, as matérias-primas envolvidas foram pesadas em uma balança analítica de alta precisão, na proporção adequada para garantir a composição química desejada. Como queríamos uma liga de massa de 25 gramas de composição Ti-25 Nb, obtivemos para o nióbio 6,25 gramas e para titânio 18,75g. No anexo encontram-se

assuntos referentes a cada metal, dentre eles, propriedades físicas e químicas, além de curiosidades.

Após o final do processo de pesagem, os metais foram guardados em um recipiente adequado que garantisse que permaneceriam limpos até o processo de fusão (segunda parte).

4.1.2. Preparação dos Lingotes (Processo de Fusão)

A preparação dos lingotes foi executada em um conjunto especialmente desenvolvido para esse fim e que tem como principal parte, um forno de fusão a arco-voltáico com atmosfera controlada (figura 4.1).



Figura 4.1 Forno de fusão a arco-voltáico

Tal equipamento consiste de uma câmara de fusão de aço inoxidável, onde a atmosfera é controlada por uma bomba de vácuo e fluxo de argônio. Para evitar o aquecimento da câmara de fusão, o forno possui uma camada externa de aço inoxidável rodeada por um fluxo constante de água refrigerada (figura 4.2). A fusão da liga é obtida por arco elétrico gerado por uma fonte de corrente contínua.

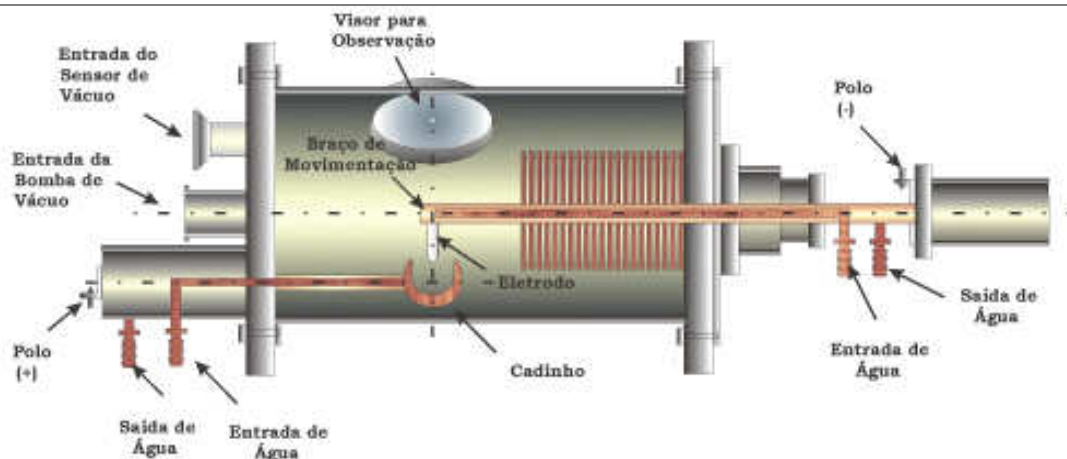


Figura 4.2. Diagrama Esquemático do forno a arco-voltáico

Para a utilização deste forno é necessário executar um longo procedimento experimental para a obtenção de um vácuo satisfatório para a não oxidação da liga, tais aspectos foram muito observados na disciplina F 640 – Vácuo e Criogenia, realizada no instituto de física. Após realizar o vácuo, a câmara é submetida a uma atmosfera de Argônio pré-purificado, para possibilitar a abertura do plasma, pois em vácuo é impossível consegui-lo. Após isso foram realizadas cinco fusões, sendo que o lingote foi girado de uma fusão para outra, para assegurar a completa homogeneização dos constituintes da liga. A figura 4.3, mostra em detalhes o cadinho junto ao lingote depois de estabelecido o vácuo na câmara.



Figura 4.3. Interior do forno a arco-voltáico.

Após a fusão as amostras foram novamente pesadas para verificar possíveis perdas de massa, principalmente de Nióbio, que foi utilizado em forma de pó.

4.1.3. Procedimento para fusão das ligas

1. Colocado o material dentro da câmara do forno. Feche a tampa apertando os parafusos em seqüência diametralmente oposta.
2. Ligue a bomba de vácuo e abra a válvula 1 lentamente até que a pressão diminua totalmente.

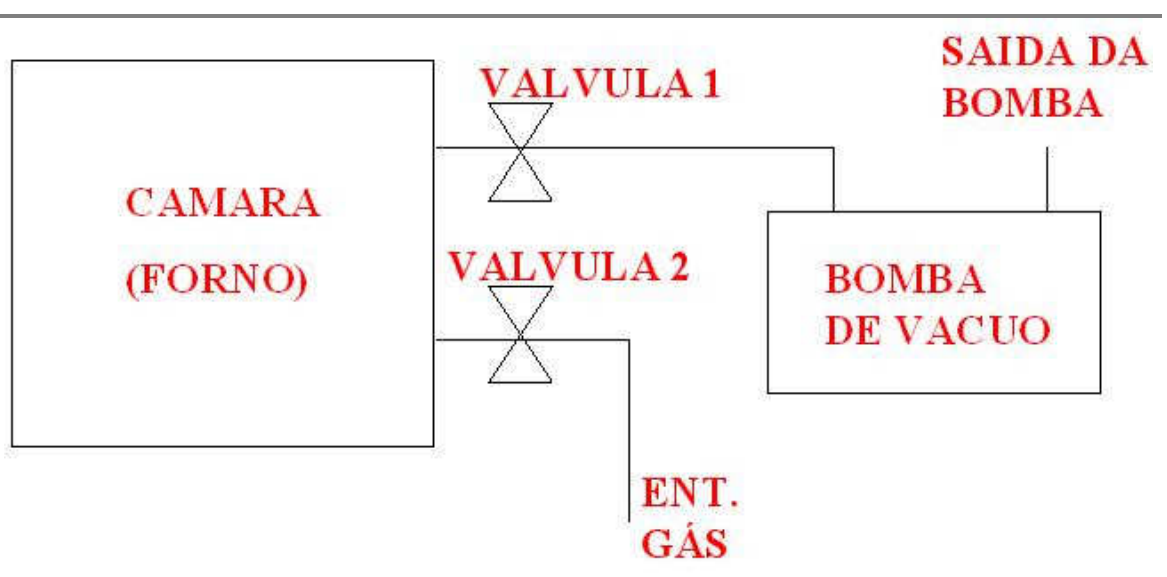


Figura 4.4. Configuração do Sistema de Vácuo

3. Passado o tempo de aproximadamente 10 minutos feche a válvula 1 e injete argônio através da abertura da válvula 2 até que a pressão chegue a uma atmosfera. Faça vácuo novamente abrindo a válvula 1.
4. Repita o processo 3. ao menos 3 vezes. Tal procedimento garanti um vácuo satisfatório.

4.2. Tratamento Térmico das Ligas de Titânio

4.2.1. Encapsulamento das Amostras

O forno para o tratamento térmico não possui sistema de vácuo, então, para garantir a não oxidação da liga foi necessário que ela estivesse encapsulada a vácuo em um tubo de quartzo, que resiste a altas temperaturas.



Figura 4.5. Lingote obtido no forno de fusão a Arco.

Os lingotes eram de 25 gramas (figura 4.5), então, para acomoda-los no tubo de quartzo eles foram cortados em dimensões desejáveis utilizando uma serra de alta precisão com um disco de corte diamantado (figura 4.6). Após isso, foi realizado o processo de encapsulamento.



Figura 4.6. Cortadora Isomet 2000.

Tal processo consiste fundamentalmente de uma bomba de vácuo e um maçarico a alta temperatura (figura 4.7). Colocada à amostra já devidamente cortada no tubo de quartzo é realizado vácuo durante aproximadamente 20 minutos, daí então é injetado argônio no tubo de modo que a pressão interna do tubo seja um pouco mais baixa que a pressão ambiente. Em seguida, o tubo é selado com o maçarico, ficando a amostra isenta do efeito atmosférico externo (figura 4.8). Devido ao fato do processo de encapsulamento usar oxigênio, é importante que as pressões do cilindro de oxigênio e do acetileno seja equivalentes.



Figura 4.7. Sistema de Encapsulamento.

Devido ao fato do processo de encapsulamento usar oxigênio, é importante que as pressões do cilindro de oxigênio e do acetileno seja equivalentes.



Figura 4.8. Amostra da liga TI-25 Nb selada em tubo de Quartzo.

4.2.2. Procedimento para o uso do maçarico

1. Abrem se os bujões de gás oxigênio e butano (o mesmo utilizado em fogões) que estão conectados no maçarico. É muito importante que as pressões indicadas nos dois bujões sejam semelhantes, pois uma diferença de pressão pode acarretar o retorno da chama aos bujões, causando assim, uma explosão.
2. Acende se o maçarico e aos poucos aumentamos o fluxo de O_2 até que chama fique totalmente azul, assim está pronto para ser usado para selar o tubo. Depois de selado podemos levar o material para receber o tratamento térmico adequado.

4.2.3. Forno de Tratamento Térmico

O Forno de tratamento térmico utilizado pode ser visto pela figura abaixo. Ele possui dois tubos de alumina. O tubo mais interno é onde fica a amostra encapsulada. O segundo tubo esta envolto de uma resistência elétrica que possui sua diferença de potencial controlada por um controlador do tipo PID. Para garantir o isolamento térmico, o sistema é isolado por uma manta de vidro seguida de uma chapa metálica.



Figura 4.9. Forno de Tratamento Térmico

Já devidamente selados e identificados, podemos colocar os tubos de quartzo no forno de tratamento térmico, iniciando então, a parte principal do experimento. Colocamos o tubo de quartzo amarrado a um arame, assim após o tratamento térmico poderíamos puxar facilmente o tubo para fora do forno.

O processo de tratamento térmico consistiu em submeter cada liga a uma determinada faixa de temperatura durante 4 horas. O esquema para este processo pode ser observado na tabela 4.1.

Tabela 4.1. Esquema para o Processo de Tratamento Térmico

Lingote	Temperatura(°C)	Tempo(horas)
1	200	4
2	300	4
3	400	4
4	450	4
5	500	4
6	550	4
7	600	4
8	700	4

4.2.4. Procedimento para utilização do forno

O procedimento descrito a seguir foi realizado rigorosamente com todos os lingotes obtidos no forno a arco-voltáico.

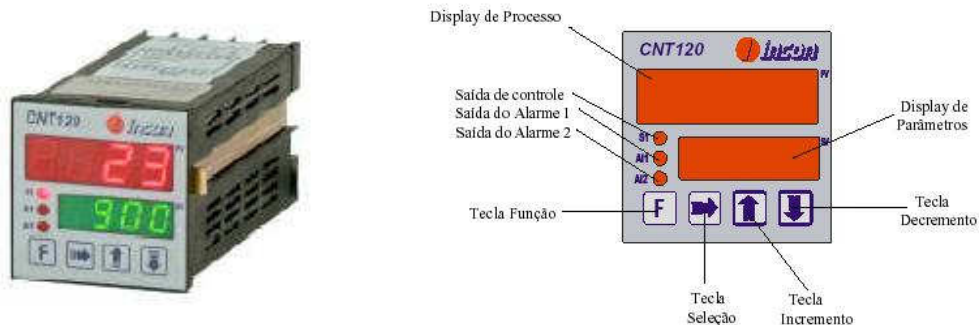


Figura 4.10. Controlador PID CNT 120

Colocada à amostra dentro do tubo de alumina mais interno, podemos colocar o forno em operação.

Pode-se armazenar vários programas de comprimento variável sem ultrapassar o total de 50 segmentos. O programa começa a ser executado ao selecionar o número de programa no parâmetro P do menu de operação normal. Se o instrumento estiver executando um programa, ao acessar o parâmetro Set point do menu de operação normal, aparecerá no display superior o tempo transcorrido do segmento corrente, e no display

inferior o segmento corrente. Com as setas UP e DOWN e possível avançar e retroceder no tempo e nos segmentos deixando o programa no ponto desejado. O programa continuara se executando a partir do ponto deixado. O procedimento pode segue abaixo:

1) Pressione o botão que possui a letra “P” até surgir no display “Pr 1” (será o programa 1).

2) Use os botões \square (para aumentar) e \square (para diminuir), e coloque, por exemplo, 400°C. Tal passo, significa que a temperatura subirá 400°C por hora.

3) Pressione “P” e escolha 400°C.

4) Pressione “P” (“P” deve ser pressionado sempre para mudarmos a operação a ser programada) e coloque 4 horas (tempo que o material ficara exposto por 400°C)

5) Novamente “P” e coloque 50°C (significa que a temperatura decairá 100°C por hora até a próxima temperatura escolhida)

6) “P” e coloque 0°C.

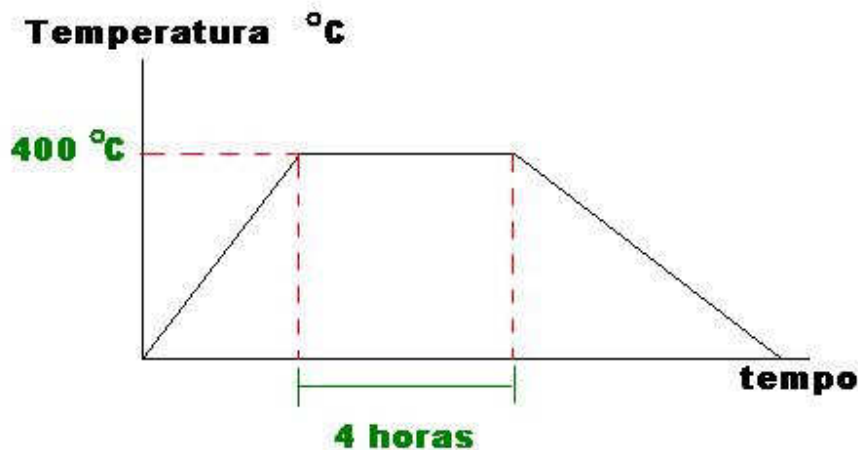


Figura 4.11. Exemplo de programação de rampa.

7) “P” e pressione o botão até diminuindo apareça “END”

8) Espere um pouco para que a programação se oculte no display e confira se realmente o que você programou está correto (para isso repita o procedimento de programar).

9)Se tudo estiver correto basta pressionar o botão “RUN” para que a programação seja executada.

4.3. Caracterização das Amostras

Terminado o processo de tratamento térmico dos lingotes. Começamos uma nova etapa que é fundamental para a análise dos resultados – a caracterização.

4.3.1. Preparação para Análises

A análise metalografica envolve a preparação adequada das amostras de acordo com algumas regras e normas padronizadas, para que os resultados obtidos pudessem ser posteriormente comparados com os resultados da literatura. A seqüência e a maneira na qual estas amostras foram preparadas segue abaixo:

- i) Retiradas do tubo de quartzo após o tratamento térmico. As amostras foram limpas e secadas normalmente.
- ii) Utilizando a embutidora de prensagem a quente(figura 4.10) as amostras foram embutidas em baquelite(figura 4.11) pelo seguinte modo:
 1. Com o parafuso fechado. Mexe-se a alavanca até que o cilindro apareça no topo do equipamento.
 2. Coloca-se a amostra no centro do cilindro. Em seguida, abre-se o parafuso novamente ate que o cilindro desça.
 3. Feito isso, coloca-se (devagar de modo que a amostra não se mexa) aproximadamente 30 ml de baquelite dentro do cilindro.
 4. Com o parafuso fechado novamente, fecha-se o cilindro com a tampa junto com a trava. Então, mexe-se com a alavanca ate que a pressão fique aproximadamente em 25 kg.

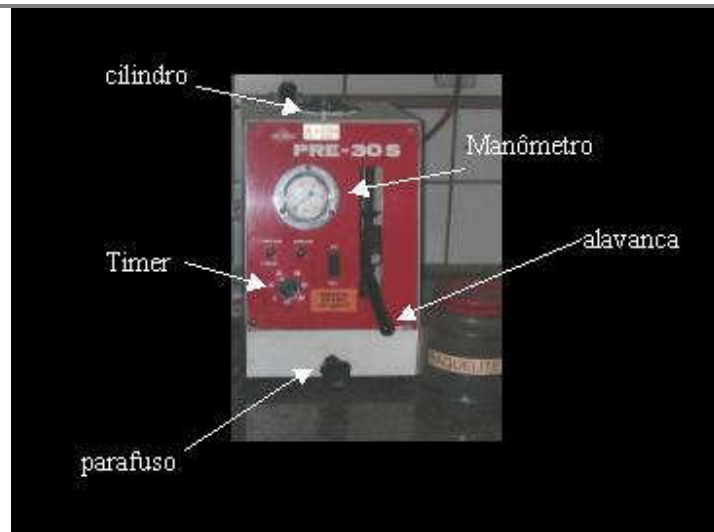


Figura 4.12. Embutidora PRÉ-30S

5. Ligue o equipamento até 25 minutos. Importante acompanhar os primeiros minutos, pois com a sinterização da baquelite a pressão tende a cair, então, novamente deve-se mexer a alavanca até que a pressão volte a 25 kg.
- iii) Para o polimento das amostras foram utilizadas lixas de grana 220, 320, 400, 600 e 1200. A mudança para uma lixa de grana maior foi feita após os riscos da lixa de menor grana desaparecerem. Após esta etapa, lavou-se a amostra com água e sabão. Em seguida, as amostras foram colocadas em um Becker contendo álcool etílico e este em um equipamento de ultrassom Branson 220 durante alguns segundos, para eliminação de possíveis resíduos deixados pelo lixamento.
Após o procedimento inicial, continuou-se o polimento mecânico com o uso de pastas de diamante de 1 μ m, em pano de nylon Struers DP – NAP lubrificando com álcool etílico absoluto, até a total eliminação de riscos.
 - iv) Para o ataque químico das amostras polidas optou-se por uma solução contendo 85% de água destilada, 10% de ácido nítrico e 5% de ácido fluorídrico, pois esta revelava as diferentes fases através de variações na sua coloração. O ataque

consistia em deixar a peça imersa na solução por aproximadamente 15 segundos.

4.3.2. Microscopia Óptica

Após o preparo das amostras, as mesmas foram observadas no microscópio óptico para observar possíveis riscos, além de auxiliar na indentação para as medidas de microdureza.

4.3.3. Difração de Raios-X

A análise por difração de raios-X foi realizada no Difratorômetro modelo Geigerflex da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, no qual foram empregados para todos os ensaios uma tensão de 30 kv, corrente de 15 mA e a faixa de observação compreendida entre $20^\circ \leq 2\theta \leq 90^\circ$. Foi utilizado um alvo de cobre que fornecia raios-X de comprimentos de onda de 1,5406 Å.

4.3.4. Ensaio de Microdureza

Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados através do equipamento Microdurômetro Buehler (figura 4.13). O penetrador utilizado possui uma ponta de diamante de formato piramidal de base quadrada e a carga utilizada foi de 200 g. Os ensaios foram realizados nas amostras após os processos de metalografia descritos no item 1 da seção 3. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM E 384 – 89.



Figura 4.13. Microdurômetro Buehler

A baixa carga utilizada nos testes de microdureza requer um cuidado extremo em todos os estágios do ensaio.

Foram realizadas cinco medidas de microdureza em cada amostra, sendo que, as impressões foram feitas aproximadamente no meio das amostras com tempo de penetração de 15 segundos e devido às facilidades do aparelho, os resultados representam a média das cinco impressões.

5. Resultados e Discussões

Na preparação da liga de titânio, conforme descrito anteriormente, foi utilizado um forno a arco voltaico de eletrodo não consumível. Embora a temperatura de fusão dessas ligas seja inferior a 1.600 °C, tal forno atinge temperaturas bem mais elevadas durante o processo, podendo levar a evaporação e perda de parte dos componentes da liga. No entanto, o componente utilizado era o Nb e, feita a pesagem após o processo, verificou-se que nenhuma perda importante de massa ocorreu.

Através da análise de difração de raios-X, foi detectada a presença de fase α' e de fase β em todas as amostras da liga Ti-25Nb, submetidas a taxas de resfriamento rápido. A figura 5.1. mostra o difratograma da liga. Devido ao resfriamento rápido a que a liga foi

submetida ao invés de se encontrar a fase α encontrou-se a fase α'' , que é chamada de fase martensítica.

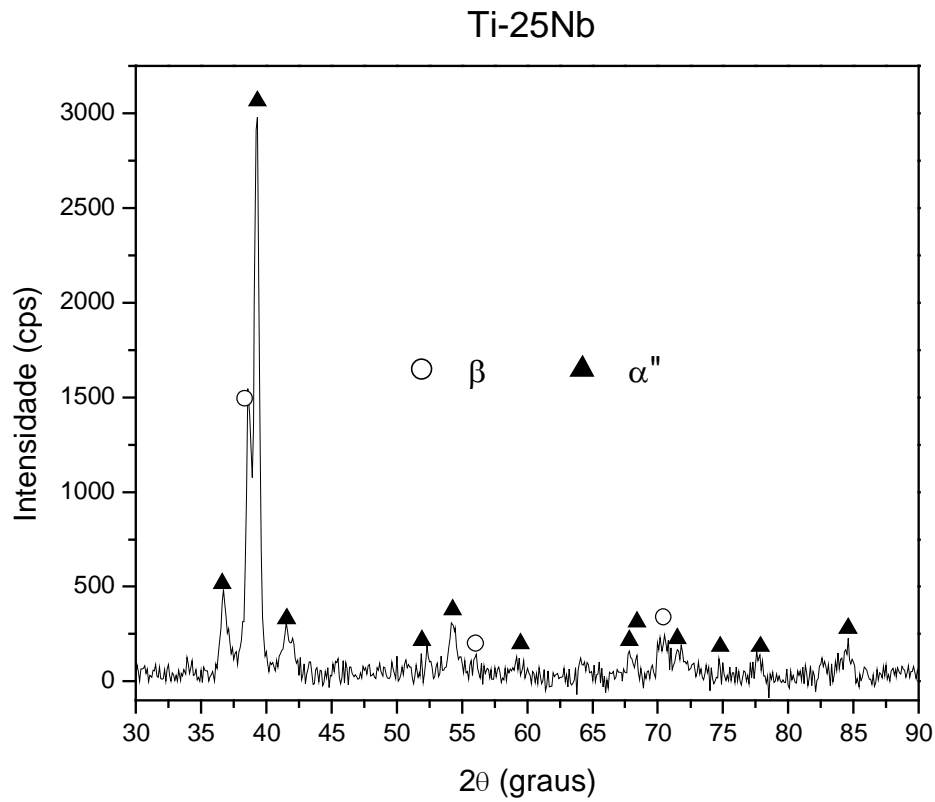


Figura 5.1. Difratoograma da liga Ti-25Nb.

Os resultados dos ensaios de microdureza mostram que o tratamento térmico causou mudança significativa nas propriedades mecânicas do material. Pela tabela 5.1. notamos que em todas as faixas de tratamento térmico ocorreu um aumento considerável de dureza da liga.

Tabela 5.1. Dados coletados e tratados do Ensaio de Microdureza

T (°C)	Erro T(°C)	Solubilizada (HV)	Erro Solubilizada (HV)	Envelhecida. (HV)	Erro Envelhecida (HV)
200	1	270	12	250	10
300	1	263	12	281	9
400	1	245	14	292	10
450	1	270	10	382	12
500	1	249	10	348	13
550	1	276	11	336	10
600	1	246	14	265	14
700	1	274	10	312	14

Na tabela acima notamos a influencia do efeito do tratamento térmico. Antes dele, a amostra solubilizada apresentava valor médio de dureza 261 HV. Após o tratamento térmico, sem contar as diferentes variações de temperatura, a dureza chegou em media a 308 HV, ou seja, o aumento da dureza foi de aproximadamente 20%. Sabe-se que o tratamento térmico de solubilização cria uma solução sólida supersaturada, ou seja, a liga Ti-Nb, ao ser solubilizada passou a ter nível de energia interna mais alto. A maior energia interna serve como energia motora para a transformação de fase que ocorre durante o tratamento de envelhecimento. Pode-se dizer então que a liga na condição solubilizada apresenta potencial para sofrer uma transformação que depende do fornecimento de certa quantidade de energia de ativação.

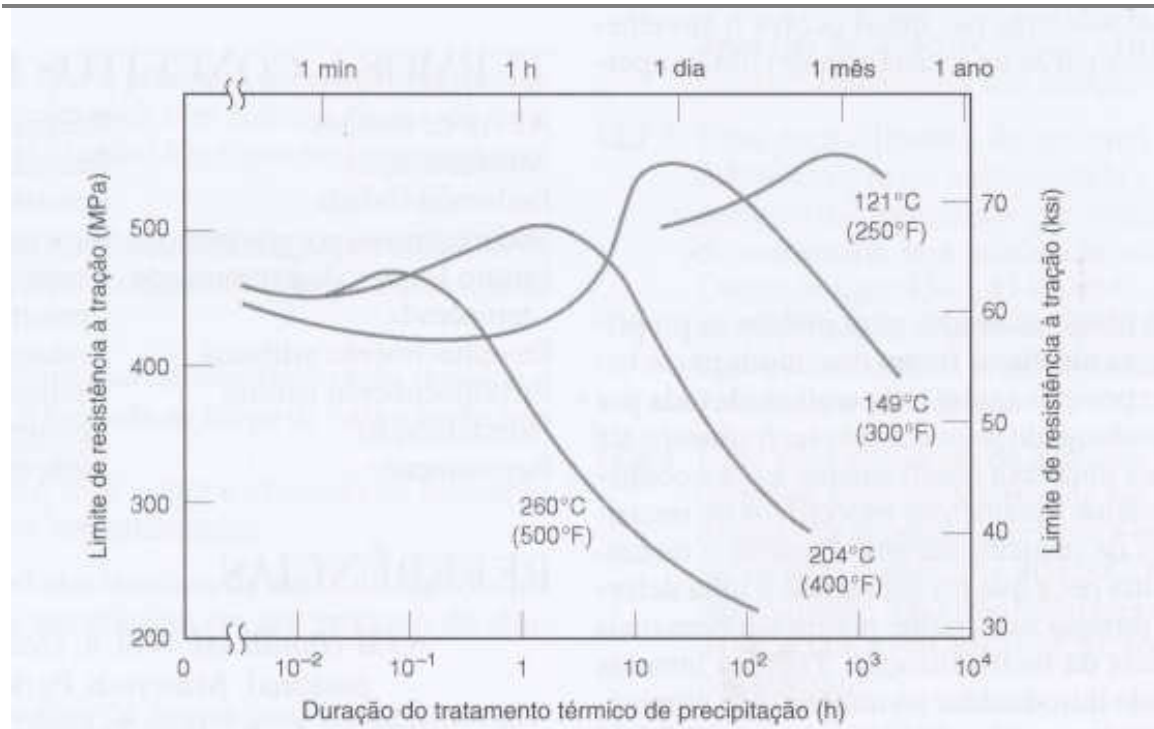


Figura 5.2. Variação da dureza em função da temperatura e do tempo de envelhecimento

A energia de ativação é fornecida durante o tratamento de envelhecimento, ao se colocar a amostra dentro de um forno a determinada temperatura. Sobre os diferentes níveis de dureza alcançados com as diversas temperaturas de envelhecimento utilizadas, pode-se dizer que alterando-se o nível de energia de ativação, ou seja, alterando-se a temperatura de envelhecimento, modifica-se o tipo de partícula que se precipita. Isso é provado pela curvas vistas na figura 5.2., que apresenta a variação da dureza de uma liga em função da temperatura e do tempo de envelhecimento. Nota-se que a temperaturas mais altas são atingidos maiores níveis de dureza, mas o tempo de tratamento deve ser mais longo. Se o tipo de partícula precipitada fosse sempre o mesmo, ao se utilizar diferentes temperaturas de envelhecimento só seriam alterados os tempos de tratamento e não os valores máximos de dureza atingidos. Por outro lado, para envelhecimento a uma determinada temperatura, se o tempo de tratamento for muito longo, ocorre um fenômeno chamado superenvelhecimento, em que as partículas crescem e o efeito de endurecimento da matriz é perdido.

6. Conclusões

Pode-se concluir que a mesma liga, envelhecida a diferentes temperaturas, apresenta níveis de dureza distintos, o que pode ser estendido a outras propriedades mecânicas. Esse tipo de tratamento poderia então ser utilizado nesse tipo de liga, otimizando suas propriedades mecânicas e permitindo seu uso na confecção de próteses a serem utilizadas na reconstituição de partes ósseas do corpo humano, já que a estrutura óssea é responsável pela sustentação do corpo.

7. Comentários Feito pelo Coordenador da Disciplina

1) Em 29/09/2005 as 21:14:11:

Projeto aprovado.

2) Em 19/10/2005 as 22:22:22:

RP Nota 10 por ter trabalho experimental.

8. Referências Biográficas

-[Callister, 1994] Callister, W.D., Materials science and engineering: an introduction, 3rd edition, 811p, 1994.

-[Anken, 1990] Anken, S., Greene, C.A., Recent developments in microstructure/property relationships of beta titanium alloys, Materials Science & Engineering A, V.263, p.127-131, 1999.

-[Ahmed, 1995] Ahmed, T. et al., A New Low Modulus, Biocompatible Titanium Alloy, Titanium'95: Science and Technology, p. 1760 – 1767, 1995.

-[Cohen, 1983] Cohen, J.; The Living Host Reactions to Embedded Foreign Implants, section one - Metal Implants: Historical Background and Biological Response to

Implantation, chapter 6; Biomaterials in Reconstructive Surgery; Edited by Leonard R. Rubin, M.D., F.A.C.S.; 1983.

-[Reed-Hill, 1991] Reed-Hill, Robert E., Physical metallurgy principles, 3rd edition, p. 515.

-[Collings, 1983] Collings, E. W. ; The Physical Metallurgy of Titanium Alloys; Series Editor; America Society for Metals; 1983.

-[Flower, 1990] Flower, H. M.; Microstructural Development in Relation to Hot Working of Titanium Alloys; Materials Science and Technology; vol.6, p. 1082; 1990.

9. Anexos

8.1 Anexo Titânio

O titânio é um elemento de transição, que se encontra no 4º grupo da Tabela Periódica. Ele é o segundo metal de transição, possui número atômico igual a 22, massa molar igual a 47,90 g/mol e símbolo químico, "**Ti**".

O titânio foi descoberto em 1791, por William Gregor, no minério ilmenita (FeTiO_3), após tratamento com ácido clorídrico e ácido sulfúrico concentrado, obtendo o TiO_2 em uma forma impura. M. H. Klaproth, quatro anos depois, redescobriu o elemento, de forma independente, obtendo o que chamamos de rutilo (TiO_2).

Em 1910, Matthew A. Hunter obteve o elemento na forma pura, aquecendo TiCl_4 com sódio metálico à 700 - 800°C.

O seu nome, titânio, é derivado do grego *Titán*, da mitologia grega, filhos mitológicos do Céu (Uranus) e da Terra (Gaia). Eram gigantes e considerados personificações das forças da natureza. Eram em número de doze. [Para saber mais, clique aqui.](#)

Ele é um metal sólido, branco, prateado e muito resistente a corrosão e a impacto mecânico. É um metal de baixa densidade, igual a 4,5 g/mL.

Este elemento não ocorre livre na natureza. Em compostos, ocorre principalmente na forma de rutilo (TiO_2) e ilmenita (FeTiO_3). Ele é um metal de abundância significativa, sendo o nono mais abundante entre todos os elementos e o segundo mais entre os metais de transição, só ficando atrás do ferro.

O titânio é aplicado na fabricação de ligas leves e de alta resistência, que são empregadas em reatores, motores de foguetes, aviões e automóveis. Seus compostos são empregados como pigmento branco para tintas, papel, borracha, além de ser utilizado na produção de cosméticos e descontaminação radioativa da pele. O TiO_2 (rutilo) é utilizado como pigmento branco em tintas. Quanto mais cara for a tinta, mais dióxido de titânio ela possui. O TiO_2 produz ~90% de brancura, onde o padrão 100% é produzido pelo MgO. Quanto mais TiO_2 a tinta possuir, mais "grossa" ela será. (Quando se refere à tinta, estamos falando de tinta usada para pintar paredes).

Titânio(IV) é o estado de oxidação mais estável e mais importante do titânio. É encontrado no cloreto de titânio(IV), TiCl_4 , um líquido incolor que se hidrolisa rapidamente quando exposto à umidade atmosférica, formando uma densa fumaça, processo que foi utilizado para produzir cortinas de fumaça durante a Primeira Guerra Mundial.

Texto obtido de <http://www.quiprocura.net/elementos/titanio.htm>.

Escrito por **Miguel A. Medeiros**.

8.2 Anexo Nióbio

Muito abundante no Brasil, especialmente em Minas Gerais, onde se localiza a maior reserva mundial, o nióbio recebeu seu nome em homenagem a Níobe, deusa grega, filha de Tântalo. Canadá, Zaire, Nigéria e Estados Unidos também têm grandes reservas.

O elemento nióbio, de símbolo químico Nb, é um metal de transição que, com o vanádio e o tântalo, integra o grupo Vb da tabela periódica. Unido ao tântalo, ocorre em

minerais como a columbita e a tantalita. A separação dos dois metais é difícil, pois apresentam propriedades muito semelhantes.

Em 1801, o químico inglês Charles Hatchett descobriu numa amostra de minério extraído na região americana da Nova Inglaterra, e deu-lhe o nome de colúmbio. Em 1844, o alemão Heirich Rose distinguiu no colúmbio dois elementos distintos, e chamou-os tântalo e nióbio. O nome colúmbio, no entanto, continua a ser usado pela indústria metalúrgica americana para designar o nióbio.

Em estado puro, o nióbio é maleável e dúctil, de cor branca brilhante, parece-se com o aço e, quando polido com a platina. Embora tenha ótima resistência à corrosão, é suscetível à oxidação acima de 400° C. É usado em ligas, ímãs supercondutores e, em pequenas quantidades, em aços inoxidáveis para evitar corrosão intergranular.

Propriedades físicas e químicas do nióbio:	
Configuração eletrônica:	412
Peso atômico:	92,906
Ponto de fusão:	2.468° C
Ponto de ebulição:	4.927° C
Densidade:	8,57 (20° C)
Estados de oxidação:	+2, +3, +4, +5
Configuração eletrônica:	2-8-18-12-1 ou (Kr)4d ⁴ 5s ¹

8.3 Anexo Argônio

Quando você ouve falar, ou vê a sílaba “Ar”, qual a primeira coisa que pensa?

Eu como químico, penso como a maioria das pessoas. Penso no ar que respiramos, que é uma mistura de vários gases, principalmente: N₂, O₂ e CO₂.

No entanto, essa é uma questão a se considerar. Quem nunca achou que o símbolo “Ar” na Tabela Periódica era uma referência ao ar que respiramos e quando foi verificar o nome, se deparou com a denominação “Argônio”?

Esta confusão é muito comum, principalmente quando se está estudando gases e suas leis na Química, pois em alguns exercícios não se sabe se faz referência ao gás nobre ou a mistura de gases. Eu mesmo já fui traído algumas vezes.

Entretanto, o que é este gás que inspiramos e expiramos e muitos o chamam de oxigênio?

Este gás é uma mistura homogênea de alguns gases, principalmente, gás nitrogênio, N_2 , oxigênio, O_2 e gás carbônico, CO_2 , entre tantos outros, até mesmo argônio, Ar, em pequenas proporções.

A composição do ar é considerada como:

- 75% de nitrogênio, N_2 ;
- 20% de oxigênio, O_2 ;
- 4% de gás carbônico, CO_2 e
- 1% de outros gases.



Esta é uma combinação ideal, pois se a concentração de O_2 fosse maior, ou se o ar fosse composto só de O_2 , seria catastrófica as consequências.

Todo material inflamável se incendiaria com grande facilidade, além do gás O_2 em alta concentração ser tóxico. Então, esta é uma boa combinação, a que nos permite viver bem.

E o Argônio, “Ar”, o que é?

O argônio é o gás nobre mais abundante em nosso planeta. Ele recebe esta denominação, gás nobre, devido a sua baixa reatividade e grande capacidade de se apresentar isolado na natureza, ou seja, não forma compostos. Este gás se encontra principalmente na mistura gasosa do ar atmosférico.

O argônio é utilizado como gás de enchimento em contador de radiação e em lâmpada de catodo oco, empregado em espectroscopia de absorção atômica. Além de ser empregado no enchimento de lâmpadas incandescentes, para evitar o contato do filamento de tungstênio quando em alta temperatura com oxigênio do ar. Quando se acende uma lâmpada incandescente, o filamento de tungstênio pode alcançar temperaturas superiores a $2000^{\circ}C$.

Texto obtido de <http://www.quiprocura.net/elementos/titanio.htm>.

Escrito por **Miguel A. Medeiros**.