

Usinagem CNC e anodização de resíduos de titânio para aplicações na joalheria *CNC milling and anodizing of titanium residue for jewelry applications*

BERTOL, Liciane Sabadin

Prof.^a do DEMEC/UFRGS e doutoranda LdSM, PPGEM/UFRGS

TESSMANN, Camila Sieburger

Mestranda LdSM, PGDESIGN/UFRGS

DUARTE, Lauren da Cunha

Pós-doutoranda LdSM, PPGEM/UFRGS

KINDLEIN JÚNIOR, Wilson

Prof. do DEMAT, PPGEM, PGDesign e coord. do LdSM/UFRGS

Palavras-chave: resíduo de titânio, anodização, joalheria.

Resumo: Este estudo apresenta a utilização de titânio para a fabricação de jóias através do processo de usinagem CNC e anodização. O titânio puro comercial, além de ser utilizado pela indústria médica, aeronáutica, espacial, química e naval, tem se mostrado também um material adequado para aplicações na joalheria, pois, além de possuir excelente resistência à corrosão, não provoca alergia nos usuários, é leve, dificilmente se deforma e pode ser colorido.

Keywords: titanium residue, anodizing, jewelry

Abstrac: This study presents the use of titanium to produce jewels using CNC milling and anodizing processes. Commercially pure titanium is used for medical, aerospace, chemical and naval industry and can be used for jewelry applications as well. Besides its excellent corrosion resistance, it doesn't cause allergy, is very light, doesn't strength easily and is suitable for coloration.

1. Introdução

O titânio é um metal de brilho prateado, mais leve do que o ferro, quase tão forte quanto o aço, e quase tão resistente à corrosão como a platina. No campo industrial o titânio é usado principalmente sob forma de óxido, cloreto e metal (MAIA, 2001).

Na forma de metal e suas ligas, cerca de 60% do titânio é utilizado nas indústrias aeronáuticas e aeroespaciais, sendo aplicado na fabricação de peças para motores e turbinas, fuselagem de aviões e foguetes. O restante é utilizado na indústria química, devido à sua resistência à corrosão e ao ataque químico; indústria naval, para equipamentos submarinos e dessalinização de água do mar; indústria nuclear, para a fabricação de recuperadores de calor em usinas de energia nuclear; indústria bélica, para a fabricação de mísseis e peças de artilharia; na metalurgia, ligado com cobre, alumínio, vanádio, níquel e outros, pois proporciona qualidades superiores aos produtos. É muito empregado na indústria de pigmentos para tintas e é parte integrante do processamento da celulose. Além disso, o titânio é normalmente o material de preferência para a fabricação de implantes e próteses, principalmente devido às suas propriedades de biocompatibilidade, resistência mecânica e resistência à corrosão.

Há alguns anos, devido ao grande espectro de cores que possibilita, o titânio metálico começou a ser empregado em objetos da joalheria. O processo utilizado para a coloração da superfície do titânio é denominado oxidação anódica, ou anodização. É empregado não apenas para fins decorativos, mas também para finalidades técnicas. As características iniciais da superfície são conservadas através da ação protetora da camada de óxido. Na anodização a superfície de um metal é transformada numa camada de óxido, através da passagem de corrente elétrica. Além de proteger o metal, a camada de óxido formada anodicamente se deixa tingir em muitas tonalidades diferentes.

Além da possibilidade de coloração, o que representa um fator de diferenciação do produto, o titânio apresenta uma série de outras propriedades que o fazem um material adequado para aplicação na joalheria: não provoca reação alérgica no usuário, não se degrada por oxidação (pois, assim como o alumínio,

apresenta uma camada impermeável de óxido em sua superfície), possui boas propriedades mecânicas, que acarretarão em uma maior durabilidade da peça: maior resistência à deformação e ao risco. Entretanto, seu processamento por fundição requer um rigoroso controle da atmosfera do forno, em função da grande reatividade do metal com o oxigênio. Além disso, é um metal que não pode ser facilmente soldado pois seu ponto de solda está entre 1.600 e 1.800°C, o que ocasiona uma grande oxidação do material. Em escala industrial, o processo de soldagem do titânio requer atmosfera controlada de argônio e maçarico de tungstênio, o que inviabiliza a utilização deste processo na joalheria. Contudo, o titânio pode ser processado por usinagem e torneamento para a fabricação de peças de joalheria. Além disso, sua fixação pode ser feita através de cravação, garras, rebites ou parafusos e, apesar de ser um material de difícil modelagem, pode-se conseguir uma certa deformação.

Neste sentido, este estudo buscou criar peças diferenciadas de joalheria, com relação ao material empregado (titânio), processo de fabricação (usinagem CNC) e aparência das peças (diferentes colorações e acabamentos superficiais).

2. Materiais e Métodos

Foram utilizadas como matéria-prima para a fabricação das peças de joalheria chapas de titânio comercialmente puro, inicialmente considerado como resíduo por uma empresa fabricante de materiais cirúrgicos de Porto Alegre - RS. De acordo com ensaios realizados pela empresa, o material utilizado apresenta as características ilustradas na tabela 1.

Tabela 1: propriedades físicas e químicas da matéria-prima.

Material: chapa de Titânio ASTM F67 GR. 20,71 x 1220 x 3048 mm	
Tratamento térmico: recozido	
Acabamento: Retificado	
Composição química: (material de acordo com limites exigidos para constituintes metálicos segundo NBR ISO 5832-2:2001 para Ti puro.	
Elemento	Teor (%)
N	0,004
C	0,011
H	0,003
Fe	0,113
O2	0,107
Ti	Bal. (Quantidade de Ti na matéria-prima, subtraídos os outros elementos)
Conformidade em máquina universal de ensaios modelo EMIC DL10000 a uma velocidade de 5mm/min: Formação de fissuras na superfície após angulação de 105°.	

O processo de criação das peças foi realizado tendo em vista as limitações impostas pela quantidade e pela natureza do material. Para a fabricação das peças de joalheria foram utilizadas sobras de chapas metálicas de titânio, de espessura de 1, e, por serem sobras, peças de grandes dimensões foram evitadas.

A criação dos desenhos bidimensionais foi realizada utilizando o software Corel Draw 11, exportando os arquivos diretamente para o software Artcam Pro 7, onde a usinagem pode ser simulada e programada. Desenhos distintos foram criados, como a fotomicrografia de um cristal, que foi posteriormente trabalhada, simplificada e convertida em bitmaps (figura 1), e peças para encaixe ou intermediação de peças maiores (figura 2).

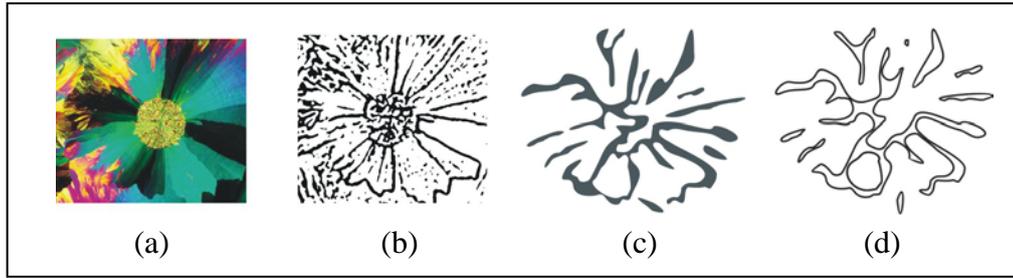


Figura 1: Inspiração e criação de desenhos bidimensionais a serem usinados em titânio. a) fotomicrografia de um cristal; b) conversão em bitmaps; c) limpeza de linhas e abstração da forma; d) extração do contorno.

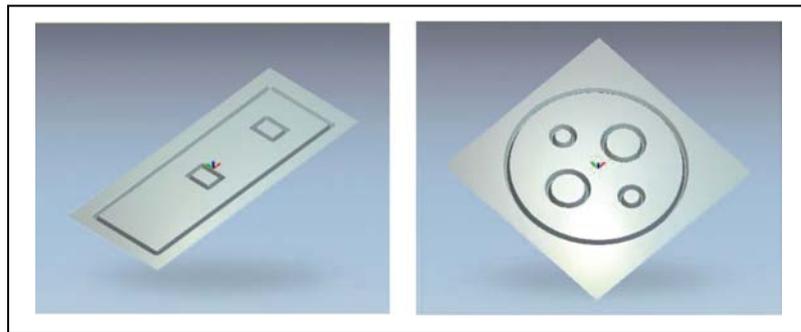


Figura 2: Desenhos de peças para encaixe e intermediação de pacas maiores, visualizados tridimensionalmente no software Artcam Pro.

O titânio, entretanto, oxida-se muito facilmente, inviabilizando processos de fabricação tradicionais de joalheria, como fundição e cera perdida. Assim, o processo de usinagem CNC foi selecionado para a manufatura, possibilitando a criação de desenhos de formas diversas. A figura 3 ilustra o processo de usinagem das chapas de titânio. Para a usinagem de peças com detalhes pequenos, deve-se tomar cuidado para selecionar uma ferramenta para usinagem capaz de cortar o material nas dimensões desejadas. Para este estudo foram utilizadas ferramentas cônicas de 0,12mm de diâmetro para a usinagem de detalhes internos das peças, e ferramentas de topo de 2,00mm de diâmetro para o contorno externo.

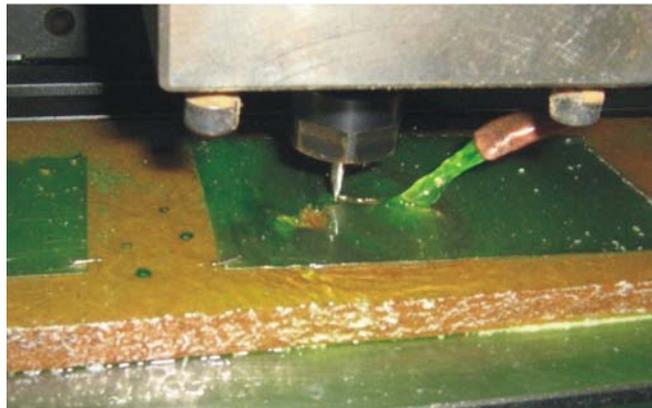


Figura 3: Processo de usinagem CNC de chapas de titânio para a fabricação das peças de joalheria.

Com a finalidade de dar um acabamento colorido nas peças produzidas, o processo de anodização do titânio foi investigado. O processo de anodização utiliza uma célula eletroquímica, que é um dispositivo no qual ocorrem reações de oxiredução, permitindo a interconversão de energia elétrica e química. As células eletroquímicas podem ser divididas em dois tipos: célula galvânica e célula eletrolítica. Numa célula galvânica o processo é espontâneo, no qual o produto da reação química é um trabalho elétrico. Na célula eletrolítica o processo não é espontâneo, no qual é utilizada energia elétrica para produzir uma reação

química. Uma célula eletrolítica é composta por dois eletrodos (inertes ou não), solução eletrolítica (eletrólito) e gerador (SANTOS JR, 2005). O anodo é o eletrodo em que ocorre a oxidação, ou seja, o eletrodo que atrai ânions da solução. Por outro lado, é denominado catodo o eletrodo em que ocorre a reação de redução. Neste caso, os cátions da solução são atraídos.

Existem dois modos diferentes de controle para realização da oxidação numa célula eletrolítica: modos galvanostático e potenciostático. O primeiro refere-se à oxidação realizada com aplicação de corrente (ou densidade de corrente) constante que passa através do circuito. Ao contrário, quando o potencial aplicado entre os eletrodos da célula é mantido constante, dizemos que o modo de oxidação é potenciostático. As anodizações realizadas neste estudo foram do modo potenciostático.

Para que ocorra a reação de anodização de forma uniforme em toda a peça, deve-se garantir que a superfície esteja limpa e desengraxada. A limpeza das peças de titânio utilizadas, que, por serem usinadas com fluido de lubrificação e refrigeração, continham uma quantidade significativa de óleo em sua superfície, deu-se em duas etapas. Primeiramente imergiu-se as peças por 10 minutos em solução composta de álcool etílico (50%) e éter (50%).

A segunda etapa da preparação da superfície das peças foi o processo de decapagem, com o objetivo de remover óxidos presentes. As peças foram imersas em solução contendo ácido nítrico (20%) e ácido fluorídrico (2%) por 3 minutos.

Após a limpeza das peças, foi realizado o processo de anodização. A figura 4 ilustra a célula eletroquímica utilizada para a anodização das peças no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

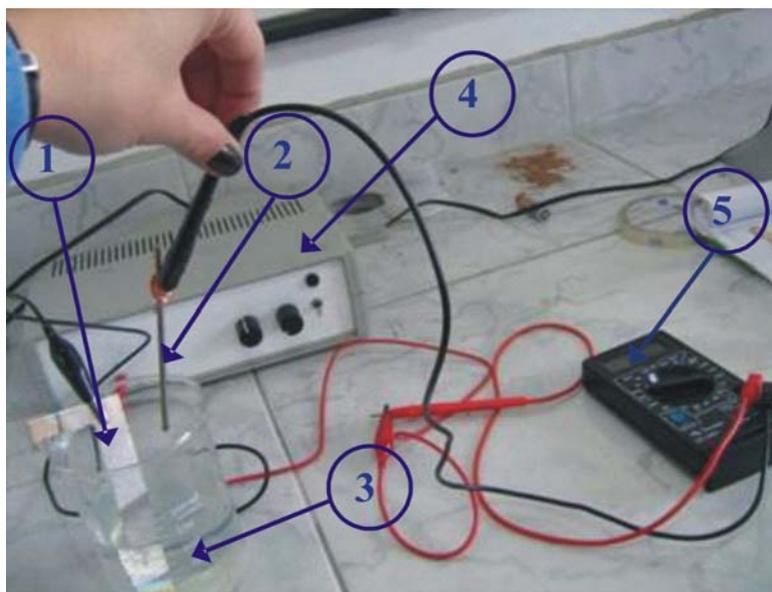


Figura 4: Célula eletroquímica utilizada para anodização. Pode-se visualizar o cátodo (1), o ânodo (2), a solução eletrolítica (3), a fonte de corrente (4) e o multímetro (5).

Diferentes tipos de acabamentos superficiais foram aplicados nas peças usinadas. Algumas receberam lixamento e polimento, algumas receberam decapagem por um maior período de tempo e outras receberam anodização.

Para a realização da anodização foram aplicados potenciais variando de 15 a 85 V utilizando uma solução eletrolítica de fosfato de sódio 1% e fonte de 1 Âmpere. Foi criada uma cartela de cores obtidas para cada potencial aplicado. Tendo definidas as cores correspondentes a cada potencial, as peças de joalheria desenhadas e usinadas foram submetidas ao processo de anodização.

A mistura de cores diferentes na mesma peça também foi realizada. Para recobrir diferentes regiões da mesma peça com diferentes espessuras de filme de óxido (gerando diferentes colorações), a peça foi imersa parcialmente na solução eletrolítica e uma determinada tensão foi aplicada; para a coloração de outra região, esta foi imersa e uma tensão correspondente à cor desejada foi aplicada.

3. Resultados e Discussão

O processo de anodização torna o titânio colorido devido à formação de uma camada de óxido em sua superfície. A variação das cores se dá em virtude da espessura desta camada de óxido, que está relacionada com o potencial aplicado na célula eletroquímica. Cabe salientar que a cor obtida independe do tempo de anodização. A figura 5 ilustra as cores obtidas, de acordo com o potencial aplicado.

0	25	40	60	75
15	30	50	65	80
20	35	55	70	85

Figura 5: Diferentes cores obtidas pelo processo de anodização relacionadas com a tensão aplicada (em Volts).

O processo de formação e crescimento do filme de TiO_2 por anodização ainda não está completamente estabelecido. Diversos autores (DUNN & RAGHAVAN, 1992; SUL et al., 2001a; VELTEN et al., 2002; HABAZAKI et al., 2003; KRUPA et al., 2003; TEH et al., 2003) apresentam estudos sobre os fenômenos relacionados. É um processo complexo que não envolve apenas o estudo do titânio e da natureza do eletrólito. Outros parâmetros devem ser considerados, como a concentração, a temperatura, a densidade de corrente aplicada (modo galvanostático) e a velocidade de agitação da solução (SUL et al., 2001a). O titânio é recoberto espontaneamente por um filme fino de TiO_2 devido à sua alta afinidade com o oxigênio, sendo a anodização um processo eletroquímico utilizado para aumentar a espessura do filme de óxido. As reações anódicas ocorridas no filme são variadas. As mais relevantes no crescimento do filme são aquelas que formam O_2 e TiO_2 .

Em algumas das peças anodizadas, o filme de óxido não ficou homogêneo, tornando a cor descontínua. Como aspectos que puderam ter interferido na anodização pode-se citar a distância entre o cátodo e o ânodo, a falta de agitação da solução, o tratamento superficial de decapagem e a instabilidades da fonte, o que geraria uma oscilação de potencial indesejada.

Peças de joalheria de diferentes formatos e diferentes cores foram obtidas através do processo de usinagem, seguido de decapagem, lixamento, polimento ou anodização. A figura 6 mostra algumas peças fabricadas utilizando estes processos.

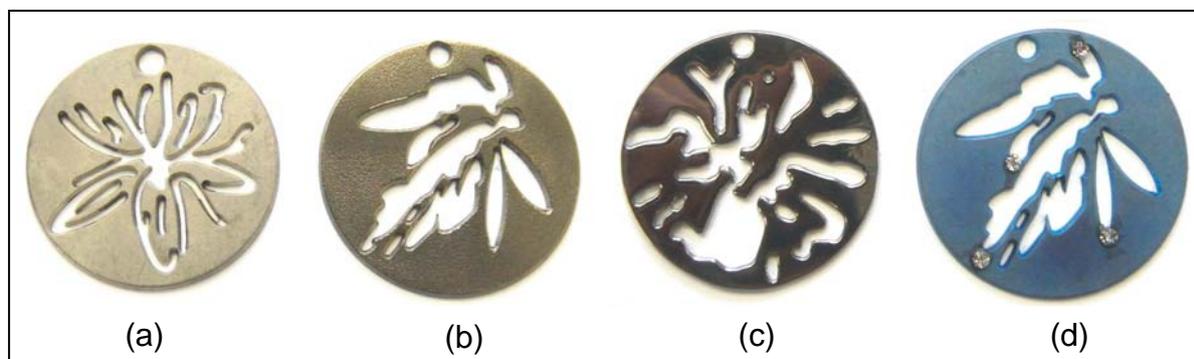


Figura 6: Peças usinadas em titânio utilizando diferentes acabamentos. a) sem acabamento; b) decapagem; c) lixamento e polimento; d) anodização.

A mistura de cores diferentes na mesma peça também foi testada. Como resultado foram obtidas peças coloridas, onde diversos tons se misturam. Foi montado um anel com aro em prata para encaixe da peça de titânio, e outras 3 peças foram montadas como pendente em corrente, utilizando a peça de encaixe como intermediária das outras duas (Figura 7). O filme de óxido formado se mantém fortemente aderido à superfície, não sendo removido com facilidade.

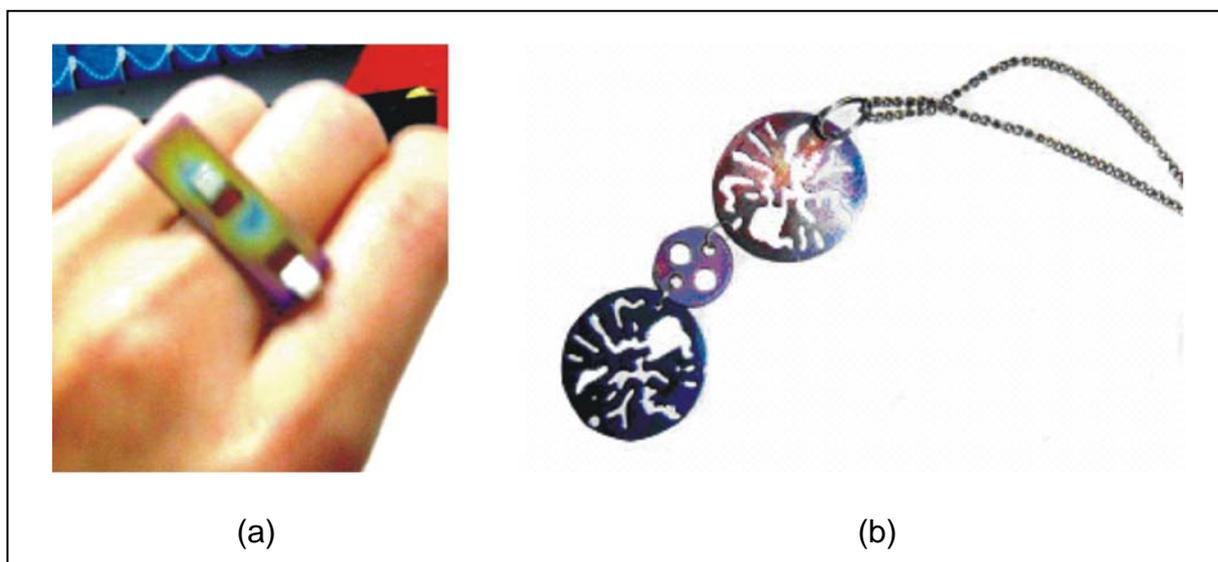


Figura 7: Peças de titânio anodizadas. a) Anel com aro em prata para encaixe da peça de titânio, com diferentes que se misturam na mesma peça; b) pendente com uma peça polida e duas anodizadas.

4. Conclusões

A utilização do titânio como material alternativo para joalheria mostra-se viável, trazendo diversas vantagens ao usuário inerentes ao material: maior durabilidade da jóia, devido à elevada resistência à deformação, resistência ao risco e resistência à corrosão, não provoca reação alérgica. Além disso, a criação de jóias utilizando titânio como matéria-prima possui como diferencial a possibilidade de anodizar a superfície, gerando diferentes cores.

A matéria-prima para a fabricação das peças de joalheria estava sendo tratada como resíduo pela empresa de materiais cirúrgicos que utiliza chapas de titânio para a fabricação de sua linha de produtos. A possibilidade de reutilização deste material para outra finalidade mostra-se como uma alternativa baseada em conceitos de ecodesign. Além disso, pode representar uma possibilidade para a criação de uma nova linha de produtos na empresa, aumentando sua competitividade e diminuindo o volume de resíduos estocado.

Neste estudo, o processo de criação de peças de joalheria utilizando titânio como matéria prima foi estudado. As peças foram criadas a partir de padrões de desenho que, transferidos para um software CAM, puderam ser reproduzidos através do processo de usinagem CNC. Após a adequada limpeza e decapagem das peças, estas foram submetidas ao processo de anodização para a obtenção de diferentes cores. As cores obtidas variaram desde o roxo, com a aplicação de um potencial de 20V, passando por diversos tons de azul (25 a 40V), verde (50V), amarelo (55-60V), laranja (65-70V) e rosa (75-80V). O titânio, por sua possibilidade de coloração e diferenciação, mostra-se assim um material com potencial para uma maior utilização na joalheria.

5. Referências

MAIA, A. Titânio. **Balanco Mineral Brasileiro**, 2001. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/titanio.pdf>. Acessado em 25/09/2008.
SANTOS JUNIOR, E. Anodização de titânio comercialmente puro para aplicações biomédicas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

DUNN, D., RAGHAVAN. Formation and characterization of anodized layers on cp-Ti and Ti6Al4V biomaterials. **Surface and Coatings Technology**, 1992, v. 50, pp. 223-232.

SUL, Y.T., JOHANSSON, C.B., JEONG, Y. et al. The electrochemical oxide growth behavior on titanium in acid and alkaline electrolytes. **Medical Engineering & Physics**, 2001 v. 23, pp. 329-346.

VELTEN, D., BIEHL, V., AUBERTIN, F. et al. Preparation of TiO₂ layers on cp-Ti and Ti6Al4V by thermal and anodic oxidation and by sol-gel coating techniques and their characterization. **Journal of Biomedical Materials Research**, 2001, v. 59, pp. 18-28.

HABAZAKI, H., UOZUMI, M., KONNO, H. et al. Crystallization of anodic titania on titanium and its alloys. **Corrosion Science**, 2003, v. 45, pp 2063-2073.

KRUPA, D., BASZKIEWICZ, J., SOBCZAK, J.W. et al. Modifying the properties of titanium surface with the aim of improving its bioactivity and corrosion resistance. **Journal of Materials Processing Technology**, 2003, v. 143, pp. 158-163.

TEH, T.H., BERKANI, A., MATO, S. et al. Initial stages of plasma electrolytic oxidation of titanium. **Corrosion Science**, 2003, v. 45, pp. 2757-2768.

BALTAR, C.; SAMPAIO, J.; ANDRADE, M. **Minerais de Titânio. Rochas e Minerais industriais – CETEM**, p. 655, 2005. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-142-00.pdf>

BRAGA, N.; FERREIRA, N.; CAIRO, C. Obtenção de Titânio metálico com porosidade controlada por metalurgia do pó. **Revista Química nova**, Vol. 30, No. 2, 450-457, 2007 Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422007000200037&script=sci_pdf&tlng=pt. Acessado em 09 de maio de 2008.

MACHADO, R. **Caderno de Tendências IBGM**, 2008. Disponível em: www.ibgm.com.br/index.cfm?saction=download&file=79B91096E9BD57E2.pdf Acesso em 09 de maio de 2008.

Liciane Sabadin Bertol liciane.bertol@ufrgs.br
Camila Sieburger Tessman casieburger@gmail.com
Lauren da Cunha Duarte laurenduarte@terra.com.br
Wilson Kindlein Júnior kindlein@portoweb.com.br