



**Patricia Isabel Pontón Bravo**

**Funcionalização de nanotubos de titanato e sua aplicação  
como reforço de nanocompósitos de matriz náilon-11**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Fernando Cosme Rizzo Assunção  
Co-orientador: Prof. José Roberto Moraes d'Almeida

Rio de Janeiro  
Janeiro de 2013



**Patricia Isabel Pontón Bravo**

**Funcionalização de nanotubos de titanato e sua aplicação  
como reforço de nanocompósitos de matriz náilon-11**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Fernando Cosme Rizzo Assunção**

Orientador

Departamento de Engenharia de Materiais–PUC-Rio

**Prof. José Roberto Moraes d’Almeida**

Co-orientador

Departamento de Engenharia de Materiais–PUC-Rio

**Profa. Paula Mendes Jardim**

UFRJ

**Dr. Marcos Henrique de Pinho Maurício**

Departamento de Engenharia de Materiais–PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de janeiro de 2013.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

### **Patricia Isabel Pontón Bravo**

Engenheira Química formada na Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito-Ecuador, 2009.

#### Ficha Catalográfica

Pontón, Patricia

Funcionalização de nanotubos de titanato e sua aplicação como reforço de nanocompósitos de matriz náilon-11 / Patricia Isabel Pontón Bravo ; orientador: Fernando Cosme Rizzo Assunção ; co- orientador: José Roberto Moraes d'Almeida. – 2013.

122 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia de Materiais, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia de materiais – Teses. 2. Nanotubos de titanato. 3. Funcionalização. 4. 3-aminopropiltriétoxisilano. 5. Náilon-11. 6. Nanocompósitos. I. Assunção, Fernando Cosme Rizzo. II. d'Almeida, José Roberto Moraes. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia de Materiais. IV. Título.

CDD: 620.11

A mi abuelita Isabel,  
a mis amados padres Livia y Elicio,  
a mi hermano David,  
y al amor de mi vida Marco.

## Agradecimentos

A Deus por iluminar sempre meu caminho e por todas as manifestações de seu amor em minha vida, porque sem sua presença e vontade nenhuma página de minha história tivesse sido escrita.

Ao meu orientador Professor Fernando Rizzo pela orientação, ensinamentos e confiança em mim depositada durante todo o mestrado.

Ao meu co-orientador Professor José Roberto d'Almeida pelos ensinamentos, paciência e grande contribuição na realização de meu trabalho experimental e interpretação dos resultados.

Ao Professor Bojan Marinkovic pelas palavras de motivação, paciência e valioso suporte em todas as etapas do decorrer desta dissertação.

À Doutora Slavica Savic pelo acompanhamento no trabalho no laboratório, por suas indicações na organização e interpretação dos resultados e, sobretudo pela amizade.

Ao meu colega Edisson Morgado do CENPES/Petrobrás por suas valiosas sugestões, tempo e colaboração com a realização das análises de fotometria de chama, BET e análises elementar de CHN.

Ao Professor Nicolás Rey do Departamento de Química da PUC-Rio, pelo suporte na interpretação dos espectros de FTIR e ao Jorge pela ajuda incansável na realização destas análises. Ao Professor Marcos Henrique de Pinho Maurício pela colaboração nas análises de MEV.

À doutora Lidija Mancic pelo apoio na interpretação dos resultados de caracterização dos nanocompósitos e na realização das análises da superfície de fratura.

Aos meus amigos do laboratório de Fotocatálise: Margarita Habran, Juliana Viol, Melissa Ferreira, Arnon Miranda, Victor Mello, Aline Alves e Gerson da Silva, pelos momentos compartilhados, afeto e palavras de incentivo.

À minha amiga Luciana Prisco por seus conselhos, solidariedade e por enxugar minhas lágrimas nos momentos difíceis. À minha colega Renata Fortini pelas experiências compartilhadas no projeto dentro de nossa equipe de trabalho. Ao Julio Suni por ser meu fiel amigo que esteve ao meu lado durante todo o mestrado, que com seu sorriso alegrou muitos dias tristes. À Ana Paula pela amizade sincera.

À minha mãe Livia por sempre acreditar em mim e pelo tempo dedicado dentro destes dois anos para se comunicar comigo. Obrigada, porque seu amor incondicional tem superado as barreiras da distância e tem me fortalecido grandemente. Ao meu pai Elicio pela força e não ter me deixado desistir, por suas orações e apoio. Ao meu irmão David pelos e-mails e demonstrações de carinho. À minha tia Luz pelo apoio e estima.

Às minhas queridas amigas Sofi, Eve, Dorita, Salito, Carlita e Nelly por sua preocupação e apoio, porque cada e-mail tocou meu coração. À Gaby Placencia por ter me visitado num momento muito difícil de minha vida, por cultivar a nossa amizade e caminharmos da mão nestes dois anos.

Ao grande amor de minha vida, Marco Guamán, por ter sido meu equilíbrio, por sua paciência e compreensão. Obrigada por multiplicar minhas alegrias e dividir minhas penas.

À Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) do governo da República do Equador pela bolsa concedida para a realização de meus estudos de mestrado.

À Petrobras pelo apoio financeiro ao projeto do qual é parte a presente dissertação.

## Resumo

Pontón, Patricia; Assunção, Fernando Cosme Rizzo; d'Almeida, José Roberto Moraes. **Funcionalização de nanotubos de titanato e sua aplicação como reforço de nanocompósitos de matriz náilon-11**. Rio de Janeiro, 2013. 122p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo deste trabalho foi estudar a funcionalização química de nanotubos de titanato (TTNTs) com 3-aminopropiltriétoxissilano, para uso como reforço de nanocompósitos de matriz náilon-11, com o intuito de melhorar a dispersão e compatibilidade destas nanocargas com a matriz polimérica. Foram sintetizadas duas amostras: TTNTs/H e TTNTs/L, com alto e baixo teor sódio respectivamente, funcionalizadas em uma solução etanol/água 95/5 v/v e água para avaliar o efeito do meio de reação na quantidade de silano enxertada na superfície dos TTNTs, expressa como densidade de grupos aminopropil por  $\text{nm}^2$  ( $N_R$ ). Os TTNTs funcionalizados foram caracterizados por espectroscopia de infravermelho, análise elementar de CHN, medição da área superficial específica, termogravimetria e microscopias eletrônicas de varredura e de transmissão. Foram fabricados nanocompósitos de matriz náilon-11 por microextrusão-microinjeção, reforçados com TTNTs de partida e funcionalizados em concentrações de 0.5, 1.0 e 2.0 % wt. Finalmente, foram avaliadas as propriedades mecânicas, térmicas e microestruturais dos nanocompósitos. Os resultados demonstraram a formação da ligação covalente Ti-O-Si e revelaram um maior valor de  $N_R$  quando o meio de reação foi etanol/água para ambos os TTNTs. Os nanocompósitos reforçados com TTNTs/H funcionalizados em água e TTNTs/L silanizados em mistura etanol/água, em uma proporção de 2% wt, apresentaram um incremento no módulo de elasticidade de 11 e 13% respectivamente, com um decréscimo das propriedades no escoamento e um aumento na temperatura de degradação, quando comparados com o náilon-11 puro. O nanocompósito que apresentou a melhor dispersão foi o fabricado com 0.5% wt. TTNTs/L silanizados em etanol/água.

## Palavras-chave

Nanotubos de titanato; funcionalização; 3-aminopropiltriétoxissilano; náilon-11; nanocompósitos.

## Resumo

Pontón, Patricia; Assunção, Fernando Cosme Rizzo (Advisor); d'Almeida, José Roberto Moraes (co-advisor). **Functionalization of titanate nanotubes and their application as a reinforcement of nylon-11 matrix nanocomposites**. Rio de Janeiro, 2013. 122p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The aim of this work was to study the chemical functionalization of titanate nanotubes (TTNTs) with 3-aminopropyltriethoxysilane for application as a reinforcement of nylon-11 matrix nanocomposites in order to increase the dispersion and compatibility between nanotubes and the polymer matrix.

Two samples with high and low sodium content (TTNTs/H and TTNTs/L, respectively) were functionalized in a solution of ethanol/water 95/5 v/v and water to assess the effect of the reaction medium on the amount of silane grafted on the TTNTs surface, expressed as the density of aminopropyl groups per nm<sup>2</sup> ( $N_R$ ). The functionalized nanotubes were characterized by infrared spectroscopy, CHN elemental analysis, measurement of the specific surface area, thermogravimetric analysis, scanning electron microscopy and transmission electron microscopy. Nylon-11 matrix nanocomposites were manufactured by microextrusion-microinjection and reinforced with 0.5, 1.0 and 2.0 wt. % of pristine and functionalized nanotubes. Finally, mechanical and thermal properties as well as the microstructure of the nanocomposites were evaluated. The results confirmed the Ti-O-Si covalent bond and showed a higher  $N_R$  value when the silanization was performed in ethanol/water for both TTNTs. The nanocomposites reinforced with 2 wt. % of TTNTs/H (silanized in water) and with TTNTs/L (silanized in ethanol/water) presented an enhancement on the Young's modulus of 11 and 13%, respectively when compared with the neat nylon-11. The yield properties of these nanocomposites decreased, but the degradation temperature was improved with the incorporation of the functionalized nanotubes. The nanocomposite prepared with 0.5 wt. % TTNTs/L silanized in ethanol/water showed the best dispersion.

## Keywords

Titanate nanotubes; functionalization; 3-aminopropyltriethoxysilane; nylon-11; nanocomposites.

# Sumário

1	Introdução	18
2	Revisão Bibliográfica	19
2.1.	Nanocompósitos poliméricos	19
2.2.	Métodos de preparação de nanocompósitos poliméricos	20
2.2.1.	Método de intercalação	20
2.2.2.	Polimerização <i>in situ</i>	21
2.2.3.	Método sol-gel	21
2.2.4.	Mistura direta do polímero e as nanocargas	22
2.3.	Náilon-11	24
2.4.	Nanotubos de titanatos	26
2.4.1.	Generalidades	26
2.4.2.	Influência do teor de sódio nas propriedades dos TTNTs	28
2.4.3.	A natureza do problema de aglomeração	29
2.5.	Funcionalização química com agentes de acoplamento silano	30
2.5.1.	Mecanismos de silanização	31
2.5.2.	Possíveis interações do silano com a matriz polimérica	34
2.5.3.	Funcionalização com APTES	36
2.5.4.	Estudo de casos de funcionalização de TTNTs com silanos	37
2.6.	Estudo de casos de nanocompósitos poliméricos fabricados com TTNTs e de nanocompósitos de matriz náilon-11	42
2.6.1.	Nanocompósitos poliméricos reforçados com TTNTs	42
2.6.2.	Nanocompósitos de matriz náilon-11	43
2.7.	Considerações finais da revisão bibliográfica	44

3	Objetivos	46
3.1.	Objetivo geral	46
3.2.	Objetivos específicos	46
4	Materiais e Métodos	47
4.1.	Síntese dos TTNTs de partida	47
4.2.	Funcionalização de TTNTs	48
4.2.1.	Cálculo da quantidade de APTES	49
4.2.2.	Funcionalização em meio de reação solvente orgânico/água	50
4.2.3.	Funcionalização em meio de reação aquoso	51
4.2.4.	Amostras funcionalizadas	52
4.3.	Caracterização de TTNTs de partida e funcionalizados	53
4.3.1.	Fotometria de chama	53
4.3.2.	Difração de raios X (DRX)	53
4.3.3.	Microscopia eletrônica de transmissão (MET)	53
4.3.4.	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	54
4.3.5.	Análise elementar de CHN	54
4.3.6.	Medições de área superficial específica	54
4.3.7.	Análise termogravimétrica (TGA)	55
4.3.8.	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	55
4.3.9.	Medição do potencial zeta	56
4.4.	Fabricação dos nanocompósitos	56
4.4.1.	Características do náilon-11	56
4.4.2.	Condições de processamento	57
4.5.	Caracterização dos nanocompósitos	60
4.5.1.	Ensaio de tração	60
4.5.2.	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	61
4.5.3.	Microscopia eletrônica de varredura de emissão de campo (MEV-FEG)	61
4.5.4.	Análise termogravimétrica (TGA)	61
4.5.5.	Calorimetria diferencial de varredura (DSC)	62

4.5.6. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	62
5 Resultados e Discussão	63
5.1. Caracterização da titânia precursora	63
5.2. Síntese dos TTNTs de partida	64
5.3. Caracterização de TTNTs de partida e funcionalizados	68
5.3.1. Espectroscopia de FTIR	68
5.3.2. Análise elementar de CHN	74
5.3.3. Medições de área superficial específica	79
5.3.4. Análise termogravimétrica (TGA)	81
5.3.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	85
5.3.6. Microscopia eletrônica de transmissão (MET)	89
5.3.7. Medição de potencial zeta	90
5.4. Caracterização dos nanocompósitos	91
5.4.1. Ensaio de tração	91
5.4.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	97
5.4.3. Microscopia eletrônica de varredura de emissão de campo (MEV-FEG)	103
5.4.4. Análise termogravimétrica (TGA)	104
5.4.5. Calorimetria diferencial de varredura (DSC)	106
5.4.6. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	108
6 Conclusões	110
7 Referências Bibliográficas	114

## Lista de figuras

Figura 2.1- Microextrusora de dupla rosca da marca Xplore DSM	24
Figura 2.2- Unidade constitucional repetida do náilon-11	25
Figura 2.3- Estrutura de um riser	25
Figura 2.4- Imagem de TTNTs altamente protonizados (a) MET; (b) HRTEM	27
Figura 2.5- Aglomerados de TTNTs	30
Figura 2.6- Estrutura geral de um agente de acoplamento silano	31
Figura 2.7- Hidrólise e condensação das moléculas de APTES para formar silanols reativos	32
Figura 2.8- Mecanismo de ligação das moléculas de APTES na superfície de TTNT protonizados adaptado a partir da referência	33
Figura 2.9- Mecanismo de silanização por condensação direta	34
Figura 2.10- Mecanismo de acoplamento por IPN	36
Figura 2.11- Representação esquemática da funcionalização de TTNTs	38
Figura 2.12- Ilustração esquemática da preparação de nanocompósitos PCL-g-TTNT	39
Figura 2.13- Esquema da funcionalização de TTNTs com APTMS	40
Figura 2.14- Funcionalização de TTNTs com APTMS e HDI.	41
Figura 4.1- Reator Berghof utilizado na produção dos TTNTs de partida	47
Figura 4.2- Metodologia de funcionalização dos TTNTs em meio de reação etanol/água	51
Figura 4.3- Funcionalização dos TTNTs em meio de reação aquoso (a) Agitação magnética; (b) Ultrassom; (c) Adição do silano; (d) Dispersão mecânica	52
Figura 4.4- Fabricação dos corpos de prova (a) Etapas da microextrusão; (b) Etapas da microinjeção	58
Figura 4.5- Temperaturas das distintas zonas da microextrusora utilizadas no processamento do náilon-11	59

Figura 4.6- Ciclo de injeção utilizado na fabricação dos corpos de prova	59
Figura 4.7- Dimensões em mm do corpo de prova fabricado na microinjetora	61
Figura 5.1- Difratoograma da titânia de partida	63
Figura 5.2- Imagens de MET da amostra de TTNTs/H: (a-b) Partes da amostra com morfologia nanotubular; (c-d) Partes de amostra com morfologia de nanofitas	64
Figura 5.3- Imagens de MET da amostra de TTNTs/L: (a) Partes da amostra com morfologia nanotubular; (b) Partes de amostra com morfologia de nanofitas	65
Figura 5.4- Difratoograma de amostra de TTNTs/H	66
Figura 5.5- Difratoograma de amostra de TTNTs/L	66
Figura 5.6- Espectros de FTIR de amostras de TTNTs/H e TTNTs/L	69
Figura 5.7- Espectros de FTIR de TTNTs/H e das amostras funcionalizadas F1 e F3	70
Figura 5.8- Espectros de FTIR de TTNTs/L e das amostras funcionalizadas F2 e F4	71
Figura 5.9- Espectros de FTIR das amostras funcionalizadas após deconvolução de bandas na faixa de $800-1000\text{ cm}^{-1}$ (a)F1; (b)F2; (c)F3; (d)F4	73
Figura 5.10- Moléculas de APTES (a) antes da hidrólise; (b) enxertas na superfície dos TTNTs considerando uma hidrólise completa	77
Figura 5.11- (a) Curvas termogravimétricas de TTNTs/H e amostras funcionalizadas F1 e F3; (b) Derivada das curvas termogravimétricas	81
Figura 5.12-(a) Curvas termogravimétricas de TTNTs/L e amostras funcionalizadas F2 e F4; (b) Derivada das curvas termogravimétricas	82
Figura 5.13- Imagens de MEV com aumento de 100X de (a) TTNTs/H; (b) TTNTs/L; (c) F1; (d) F2; (e) F3; (f) F4	85
Figura 5.14- Imagens de MEV com aumento de 500X de	

(a) TTNTs/H; (b) TTNTs/L; (c) F1; (d) F2; (e) F3; (f) F4	86
Figura 5.15- Imagens de MEV com aumento de 2500X de (a) TTNTs/H; (b) TTNTs/L; (c) F1; (d) F2; (e) F3; (f) F4	87
Figura 5.16- Imagens de MEV com aumento de 25000X de (a) TTNTs/H; (b) TTNTs/L; (c) F1; (d) F2; (e) F3; (f) F4	88
Figura 5.17- Imagens de MET de amostras silanizadas (a) F1; (b) F2; (c) F4	89
Figura 5.18- Potencial zeta de TTNTs/H e amostra F3	90
Figura 5.19- Tensão na ruptura dos nanocompósitos fabricados em função da porcentagem de TTNTs	91
Figura 5.20- Deformação na ruptura dos nanocompósitos fabricados em função da porcentagem de TTNTs	92
Figura 5.21- Curva tensão-deformação do náilon-11 e dos nanocompósitos reforçados com 0.5%wt. de nanotubos	92
Figura 5.22- Tensão no escoamento dos nanocompósitos fabricados em função da porcentagem de TTNTs	93
Figura 5.23- Deformação no escoamento dos nanocompósitos fabricados em função da porcentagem de TTNTs	94
Figura 5.24- Módulo de elasticidade dos nanocompósitos fabricados em função da porcentagem de TTNTs	94
Figura 5.25- Ampliação da região inicial da curva tensão-deformação da Figura 5.21	95
Figura 5.26- Superfície de fratura do náilon-11 e ampliação da região da trinca	97
Figura 5.27- Vista lateral da superfície de fratura do corpo de prova de náilon-11	98
Figura 5.28- Vista superior da superfície de fratura da amostra de náilon-11/TTNTs/H-2%wt.	98
Figura 5.29- Inclusão de nanotubos na superfície de fratura da amostra de náilon-11/TTNTs/H-2%wt.	99
Figura 5.30- (a) Superfície de fratura da amostra de náilon-11/F2-2%wt.; (b) parte central; (b) inclusão de nanotubos	100
Figura 5.31- Aglomerados de nanotubos recobertos pela matriz na	

amostra de náilon-11/F2-2%wt.	100
Figura 5.32- Vista lateral da superfície de fratura da amostra de náilon-11/F2-2%wt.	101
Figura 5.33- Inclusão de nanotubos na superfície de fratura da amostra de náilon-11/F2-0.5%wt.	102
Figura 5.34- Inclusão de nanotubos na superfície de fratura da amostra de náilon-11/F2-0.5%wt.	103
Figura 5.35- Curva termogravimétrica de náilon puro	105
Figura 5.36- Curva termogravimétrica do compósito náilon-11/F2-2%wt.	105
Figura 5.37- Curva de DSC de náilon-11	106
Figura 5.38- Curva de DSC dos nanocompósitos de náilon-11/F2-2%wt.	106
Figura 5.39- Espectros de FTIR de náilon-11 e nanocompósitos reforçados com 0.5% de TTNTs/H e F3.	109

## Lista de tabelas

Tabela 2.1- Nanocompósitos fabricados com matriz náilon-11	43
Tabela 4.1- Quantidades de APTES utilizadas na funcionalização dos TTNTs	49
Tabela 4.2- Volume do meio de reação por grama de TTNTs	50
Tabela 4.3- Identificação das amostras funcionalizadas	52
Tabela 4.4- Propriedades gerais do náilon-11 Rilsan® PA G BESNO TL	57
Tabela 5.1- Área superficial específica das amostras de TTNTs sintetizadas	68
Tabela 5.2- Novas bandas obtidas nos espectros de FTIR de TTNTs funcionalizados	72
Tabela 5.3- Número de onda da ligação Ti-O-Si nas amostras funcionalizadas e da ligação Ti-O (nonbridging oxygen bonds)	74
Tabela 5.4- Resultados da análise de CHN dos TTNTs antes e após a funcionalização	75
Tabela 5.5- Quantidade de APTES enxerta na superfície dos TTNTs	76
Tabela 5.6- Área superficial específica e densidade de grupos aminopropil das amostras funcionalizadas	79
Tabela 5.7- Perda de massa de TTNTs de partida e funcionalizados	83
Tabela 5.8- Valores de $W_{aminopropil}$ e $N_R$ obtidos por TGA	84
Tabela 5.9- Comparação da tendência das propriedades dos nanocompósitos reforçados com TTNTs/H e TTNTs/L	96
Tabela 5.10- Propriedades mecânicas do náilon-11 puro	97
Tabela 5.11- Resultados das análises termogravimétricas	104
Tabela 5.12- Temperatura de transição vítrea dos nanocompósitos analisados	107
Tabela 5.13- Resultados das análises de DSC	108

## Lista de abreviaturas

APTES	3-aminopropiltriétoxissilano
ATR	Refletância total atenuada
BET	Brunauer, Emmett e Teller, autores da metodologia
CHN	Análise elementar de carbono, hidrogênio e nitrogênio
Co	Quantidade de APTES inicial (mmol APTES/gTTNTs)
C <sub>R</sub>	Quantidade de APTES enxertada (mmol APTES/gTTNTs)
C <sub>T</sub>	Quantidade de APTES teórica (mmol APTES/gTTNTs)
DSC	Calorimetria diferencial de varredura
DRX	Difração de raios X
F1	TTNTs/H funcionalizados com APTES em solução etanol/água
F2	TTNTs/L funcionalizados com APTES em solução etanol/água
F3	TTNTs/H funcionalizados com APTES em água
F4	TTNTs/H funcionalizados com APTES em água
FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
IPN	Rede de polímero interpenetrante
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MEV-FEG	Microscopia eletrônica de varredura de emissão de campo
MET	Microscopia eletrônica de transmissão
N <sub>R</sub>	Densidade de grupos aminopropil por nm <sup>2</sup>
TGA	Análise termogravimétrica
TTNTs	Nanotubos de titanato
TTNTs/H	Nanotubos de titanato com alto teor de sódio
TTNTs/L	Nanotubos de titanato com baixo teor de sódio