



Ronald Beyner Mejia Sanchez

**Síntese e Caracterização de Nanocompositos
de Óxidos e Níquel Metálico para Uso como
Catalisadores de Nanotubos de Carbono**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título 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. Roberto Ribeiro de Aviliez

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2014



Ronald Beyner Mejia Sanchez

Síntese e Caracterização de Nanocompositos de Óxidos e Níquel Metálico para Uso como Catalisadores de Nanotubos de Carbono

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título 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. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Roberto Ribeiro de Avillez

Orientador

Departamento de Engenharia de Materiais PUC - Rio

Prof. Francisco Jose Moura

Departamento de Engenharia de Materiais PUC – Rio

Prof.^a Paula Mendes Jardim

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
UFRJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico da - PUC – Rio

Rio de Janeiro, 07 de Fevereiro 2014.

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

Ronald Beyner Mejia Sanchez

Graduou-se em Engenharia Química pela Universidad Nacional de Ingenieria Lima - Peru em 2009.

Ficha Catalográfica

Mejia Sanchez, Ronald Beyner

Síntese e caracterização de nanocompositos de óxidos e níquel metálico para uso como catalisadores de nanotubos de carbono / Ronald Beyner Mejia Sanchez; orientador: Roberto Ribeiro de Avillez. – 2014.

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

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia de Materiais, 2014.

Inclui bibliografia

CDD: 620.11

Ao Senhor Jesus Cristo, meu pai Jesus Israel, minha mãe Agripina, meu irmão Cristian, e minha irmã Liliana, meus avós Ambrosio, Viviana, Marcos e Juana meus queridos amigos.

Agradecimentos

Ao Professor Roberto Ribeiro de Avillez pela orientação, ensinamentos e grande contribuição para a realização deste trabalho. Além, pela motivação, paciência, e confiança em mim durante o desenvolvimento de todo o mestrado.

À Professora Ivani de Sousa Bott pelo uso do Laboratório de Metalografia e Tratamentos Térmicos.

Ao Professor Rogério Navarro Correia de Siqueira pela colaboração no desenvolvimento de minha dissertação.

Ao Professor Marcelo Huguenin Maia da Costa pelo uso do Laboratório no Van de Graf do departamento de física da PUC-Rio.

Ao Professor Marcelo Huguenin Maia da Costa pelo uso do Laboratório no Van de Graf do departamento de física da PUC-Rio.

Ao Dunieskys Roberto Gonzáles Larrúde pela ajuda no desenvolvimento dos nanotubos de carbono.

A meus amigos Danny Chávez, Roger Gago, Ângela Castro pela motivação em todo momento.

Aos professores da PUC - Rio pelo ensino.

Ao Departamento de Engenharia de Materiais da PUC - Rio e seus funcionários, pela colaboração comigo.

A CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela ajuda financeira.

A todas aquelas pessoas que de alguma outra forma participaram no desenvolvimento da dissertação.

Resumo

Mejía Sánchez, Ronald Beyner; Roberto Rebeiro de Avillez. **Síntese e caracterização de Nanocompositos de óxidos e Níquel Metálico para Uso como Catalisadores de Nanotubos de Carbono**. Rio de Janeiro, 2014. 125p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Foram desenvolvidos nanocompósitos de óxidos dopados com níquel metálico pelo processo Sol-Gel modificado pelo uso do PVA (Álcool Polivinílico) na função de matriz de crescimento dos nanocompósitos. Os precursores dos óxidos foram os nitratos de seus próprios metais. Foram sintetizados três tipos de nanocompósitos óxido de magnésio, óxido de alumínio e óxido de zinco. O trabalho envolveu quatro etapas principais: levantamento bibliográfico, desenvolvimento e caracterização dos nanocompósitos e uso dos nanocompósitos como catalisadores na síntese de nanotubos de carbono. O desenvolvimento dos nanocompósitos foi motivado pela necessidade de materiais com tamanho e estrutura controláveis para emprego como catalisadores pela indústria. Na síntese dos nanocompósitos foi usada uma relação de PVA/ Água de 1/12 que depois foi variada para avaliar a influência sobre a força de hidrólise, a relação entre metal da matriz e níquel metálico foi de 9:1, em porcentagem em massa. Também foi avaliada a influência do surfactante Dodecil Sulfato de sódio (SDS) e do hidróxido de amônio na síntese dos nanocompósitos. Os nanocompósitos sintetizados neste trabalho foram testados como catalisadores no crescimento de nanotubos de carbono pela técnica de “High Vacuum Chemical Vapor Deposition (CVD)”. Os catalisadores utilizados tinham tamanho de cristalito aproximado de 11nm no caso de óxido de magnésio e de 5 nm no caso do óxido de alumínio, o níquel metálico formado nestes suportes estava bem disperso e com dimensões estimadas de 3nm. Nanotubos de carbono de uma camada e mais de uma camada foram obtidas somente quando o suporte do níquel metálico era o óxido de magnésio. Os nanotubos foram caracterizados por Raman e microscopia eletrônica de varredura.

Palavras-chave

Processo sol-Gel; Nanotubos; Nanocompósitos; Catalisador.

Abstract

Mejía Sánchez, Ronald Beyner; Roberto, Ribeiro de Avillez (Advisor). **Synthesis and Characterization of Nanocomposites of Oxides and Metallic Nickel for Use as Carbon Nanotubes Catalyst.** Rio de Janeiro, 2014. 125p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro.

Metallic Nickel and oxide nanocomposite have been developed by Sol-Gel process modified by the use of PVA (polyvinyl alcohol) as a matrix for the growth of the nanocomposites. The oxides precursors were nitrates from their own metal. Three types of oxides were synthesized, magnesium oxide, aluminum oxide and zinc oxide. This work is presented in four sections: literature survey, development and characterization of nanocomposites and the use of nanocomposites as catalysts in the synthesis of carbon nanotubes. The development of these nanocomposites was motivated by the need for materials with controllable size and structure for use as catalysts in industry. The synthesis of the nanocomposites used a ratio of PVA / water of 1/12 that was later varied to evaluate the influence of the force of hydrolysis, the relationship between the matrix oxide metal and metallic nickel was 9:1 in mass percentage. The influence of the surfactant sodium dodecyl sulfate (SDS) and the ammonium hydroxide was also evaluated in the nanocomposites synthesis. The nanocomposites synthesized in this work were tested as catalysts in the growth of carbon nanotubes by the technique of "High Vacuum Chemical Vapor Deposition (CVD)". The catalysts used had a crystallite size of approximately 11nm in the case of magnesium oxide and 5 nm in the case of aluminum oxide, metallic nickel formed on these supports was well dispersed with a size of 3nm. Single layer and multiple layer carbon nanotubes were obtained only when magnesium oxide was the nickel substrate. The nanotubes were characterized by Raman and scanning electron microscopy.

Key-words

Sol-Gel process; Nanotubes; Nanocomposites; Catalyst.

Sumário

1	Introdução	18
2	Objetivos	21
2.1	Objetivo Geral	21
2.2	Objetivos Específicos	21
3	Revisão Bibliográfica	22
3.1	Nanomateriais	22
3.2	Nucleação Homogênea	23
3.3	Sol, Gel e Transição Sol – Gel.	26
3.3.1	Sol	26
3.3.2	Peptização	27
3.3.2.1	Interações de Van der Waals entre as Partículas Coloidais	28
3.3.2.2	Camada Elétrica Dupla ao Redor das Partículas Coloidais	31
3.3.3	Gel	32
3.3.3.1	Géis Coloidais	33
3.3.3.2	Textura dos Poros	33
3.3.4	Transição Sol - Gel	34
3.3.4.1	Termodinâmica dos Fenômenos Críticos	36
3.3.4.2	Gelatinização de Sistemas Coloidais Aquosos	37
3.3.4.3	Força de Hidrólise	38
3.4	Obtenção de Nanoestruturas	39
3.4.1	Síntese de Nanopartículas de Óxidos	39
3.4.2	Processo Sol - Gel	40
3.4.3	Estrutura	43
3.4.4	Xerogel	46
3.4.5	Álcool Polivinílico (PVA)	47
3.5	Óxidos	48
3.5.1	Óxido de Alumina Al_2O_3	48
3.5.2	Óxido de Magnésio (MgO)	49

3.5.3. Oxido de Zinco (ZnO)	50
3.5.4. Níquel Metálico	51
3.6. Nanotubos de Carbono	52
3.6.1. Estrutura	53
3.6.1.1. Nanotubos de Carbono de Parede Simple (SWCNTs)	53
3.6.1.2. Nanotubos de Carbono de Parede Múltipla (MWCNTs)	56
3.6.2. Síntese de Nanotubos de Carbono	56
3.6.3. Determinação de Banda Proibida (Band Gap)	59
3.6.4. Determinação da Área Superficial pela BET.	60
4 Métodos Experimentais	63
4.1. Reagentes Utilizados	63
4.2. Síntese dos Nanocompósitos	63
4.2.1. Amostras de MgO/Ni e MgO	63
4.2.2. Amostras de Al ₂ O ₃ /Ni e Al ₂ O ₃	66
4.2.3. Amostra de ZnO/Ni e ZnO	67
4.3. Crescimento de Nanotubos de Carbono (CNTs)	68
4.4. Redução de NiO para Ni de Catalisadores de MgO/Ni.	70
4.5. Caracterização Microestrutural	71
4.5.1. Difração de raios -X (DR-X)	71
4.5.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	72
4.5.3. Espectroscopia Raman	73
4.5.4. Espectroscopia Infravermelha (UV - Visível)	75
5 . Resultados e Discussão.	76
5.1. Amostras de MgO/Ni e MgO	76
5.1.1. Microscopia Eletrônica de Varredura do MgO/Ni e MgO	76
5.1.2. Análise BET	78
5.1.3. DR-X das amostras de MgO/Ni e MgO.	80
5.1.3.1. Fases Presentes	83
5.1.3.2. Tamanho do cristalito	86
5.1.4. Banda Proibida.	86
5.2. Amostra de 10%Ni/90%Al e Al ₂ O ₃	88
5.2.1. Microscopia Eletrônica de Varredura das amostras de	

	10
Al ₂ O ₃ /Ni e Al ₂ O ₃	88
5.2.2. DR-X das Amostras de Al ₂ O ₃ /Ni e Al ₂ O ₃	89
5.2.2.1. Frases Presentes	91
5.2.2.2. Tamanho do Cristalito	92
5.2.3. Analise BET.	92
5.2.4. Banda Proibida	95
5.3. Amostra de 10%Ni/90%Zn e ZnO	97
5.3.1. Microscopia eletrônica de Varreduras as Amostras de ZnO/Ni e ZnO	97
5.3.2. DR-X amostras de ZnO/Ni e ZnO	98
5.3.2.1. Difração de Raios-X das Amostras ZnO Dopados com Ni Metálico	98
5.3.2.2. Fases Presentes	99
5.3.2.3. Tamanho de Cristalito	100
5.3.3. Banda Proibida	101
5.4. Síntese de Nanotubos de Carbono (CTNs)	102
5.4.1. Microscopia Eletrônica de Varredura dos CNTs	102
5.4.2. DR-X dos Nanotubos de Carbono	104
5.4.3. Espectroscopia Raman dos CNTs	107
6 Conclusões	112
7 Sugestões para Trabalhos Futuros	114
Referências Bibliográficas	115

Lista de Figuras

Figura 1 - Ilustração esquemática da redução de energia livre de Gibbs numa solução sobressaturada por formação de uma fase sólida e a mantendo em equilíbrio a concentração na solução.	23
Figura 2 - Ilustração esquemática da mudança de energia de volume $\Delta\mu_v$, energia livre da superfície, $\Delta\mu_s$, e a energia livre total, ΔG , como função do raio do núcleo.	25
Figura 3 - O efeito da temperatura sobre o tamanho crítico e a energia livre crítica de três núcleos esféricos. A supersaturação aumenta com a diminuição da temperatura e a energia de superfície também varia com a temperatura. $T_E > T_1 > T_2 > T_3$.	26
Figura 4 - Representação de duas partículas que fazem a interação de Van der Waals separadas por uma distância S_0 num solvente.	28
Figura 5 - Camada elétrica dupla entorno de uma partícula coloidal.	31
Figura 6 - Os géis na classificação por Flory; (a) gel lamelar montmorillonite, (b) géis covalentes de poliacrilamida, adaptada de Tanaka, (c) gel de gelatina compreendendo domínios cristalinos, (d) géis de partículas de sílica.	32
Figura 7 - Representação das micrografias eletrônicas de grupos de gel coloidal de ouro em diferentes escalas.	33
Figura 8 - Esquema ilustrativo do processo de gelatinização para sistemas coloidais (a) e Poliméricos (b).	34
Figura 9 - Evolução da gelatinização com aumento da fração de microgel.	35
Figura 10 - Representação esquemática da agregação de moléculas trifuncionais.	36
Figura 11 - Esquema ilustrativo da percolação de sítios (a) e de ligações (b) em uma rede quadrada bidimensional.	37
Figura 12 - Micrografia MEV de esferas de sílica preparado no sistema etanol-etil-éster.	39
Figura 13 - Esquema da transição sol-gel: formação de gel particulado	40
Figura 14 - Esquema do processo Sol-Gel.	42
Figura 15 - Os quatro tipos de estrutura de géis da classificação de Flory: a) estruturas lamelares ordenadas da montmorillonite; b) redes poliméricas covalentes com estrutura desordenada da poliacrilamida; c) redes poliméricas com domínios cristalinos; géis particulados de sílica.	44

- Figura 16 - Esquema ilustrando a redução do volume na transição de gel para xerogel e aerogel. 46
- Figura 17 - Reação de formação do PVA a partir do PVA. 47
- Figura 18 - Estrutura cristalina da alumina- α . Esquerda, vista do plano basal: os grandes círculos representam os ânions, e os círculos pequenos preenchidos representam os cátions e os círculos pequenos não preenchidos representam vagas em sítios octaédricos. Direita, vista da super-rede catiônica. 48
- Figura 19 - Célula unitária do MgO: as esferas cinzas representam átomos de oxigênio e as pretas, átomos de magnésio (a) estrutura do plano $\langle 100 \rangle$ no MgO: a cor branca representa a primeira camada de átomos de oxigênio; o cinza representa a camada subjacente de átomos de oxigênio, (b) as esferas pretas, os átomos de magnésio 50
- Figura 20 - Estrutura mais estável de óxido de zinco é a hexagonal tipo wurzita. 51
- Figura 21 - Exemplo de nano tubos de parede simples (SWCNT) à esquerda e de parede múltiplas (MWCNT) à direita. 53
- Figura 22 - Vetor quiral \vec{C} e ângulo quiral “ θ ” é definido para um (2,4) de nanotubos em folhas de grafeno. Onde \vec{a}_1 e \vec{a}_2 são os vetores de células unitárias da folha de grafeno hexagonal bidimensional. A circunferência do nanotubos é dada pelo comprimento do vetor quiral. O ângulo quiral “ θ ”, é definido como o ângulo entre \vec{C} e o eixo Zig-Zag. 54
- Figura 23 - Estrutura geométrica de SWCNTs. (a) nanotubos armchair (5,5), (b) nanotubo zingzag (9,0) e (c) nanotubo quiral (10,5). 56
- Figura 24 - Mostrando um MWCNTs onde se podem apreciar as camadas concêntricas os quais foram descobertas e sintetizadas em 1991. 56
- Figura 25 - Representação esquemática simplificada do sistema CVD para monitorar a formação de NTC a partir de reação de CH₄ em catalisadores. 57
- Figura 26 - Mecanismos de crescimento dos CNTs pelo método CVD. 58
- Figura 27 - Representação esquemática dos modos de crescimento dos nanotubos de carbono: crescimento pela ponta (a), e crescimento pela base (b). 58
- Figura 28 - Níveis eletrônicos dependentes do número de átomos ligados. 59
- Figura 29 - Espectroscopia de reflexão difusa (a), determinação da energia proibida (E_g), com a equação de Kabelkas-Munk (b). 60
- Figura 30 - Tipos de isoterma de adsorção e tipos de ciclos de histereses. 61

Figura 31 - Fluxograma geral da preparação das amostras de MgO/Ni e MgO.	64
Figura 32 - Fluxograma geral da síntese das amostras de Al ₂ O ₃ /Ni e Al ₂ O ₃	66
Figura 33 - Fluxograma geral da síntese das amostras de ZnO/Ni e ZnO.	67
Figura 34 - Equipamento de High Vacuum Chemical Vapor Deposition (CVD), departamento de física PUC-Rio.	68
Figura 35 - (a) Fluxograma geral do processo de nanotubos de carbono pelo método de CVD	69
Figura 36 - Amostras após o crescimento de nanotubos de carbono pelo método High Vacuum Chemical Deposition Vapor (CVD).	70
Figura 37 - Linha utilizada nos processo de redução das amostras de MgO/Ni e barquinha de cerâmico utilizado para pesar as amostras	70
Figura 38 - Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) JEOL JSM6510LV e porta amostras do (MEV) com amostras do catalisador.	73
Figura 39 - Diagrama energético onde as linhas horizontais representam os distintos estados vibracionais e amostram as transições de estados energéticos para diferentes interações da luz e a matéria	73
Figura 40 - Linhas Stokes e Anti Stokes do espectro Raman (FATOBENE, 2008).	74
Figura 41 - Espectroscópio Raman (NTEGRA Spectra NT-MDT), e amostras de catalisadores após o crescimento de nanotubos de carbono.	75
Figura 42 - (a) Imagem da amostra com 10%Ni/ 90%Mg, (b) imagem da amostra com 100% MgO. Após a tratamento térmico a 600°C e 2 h com uma amplificação de X10.000.	76
Figura 43 - (a) Imagem mudando relação de PVA/ Água de 1/12 para 1/18, (b) imagem com 1h de calcinação, (c) imagem com PVA/água=1/18 e adição de surfactante (SDS), (d) imagem similar a figura 56a só mudando o tempo de adição do níquel que foi 6 horas após a formação do Sol.	77
Figura 44 - Isoterma de adsorção e de sorção de nitrogênio sobre a amostra de 10%Ni / 90%Mg com uma relação de PVA/ Água de 1/12.	78
Figura 45 - Isoterma de adsorção e de sorção de nitrogênio sobre a amostra de 10%Ni / 90%Mg com uma relação de PVA/ Água de 1/18	78
Figura 46 - Distribuição de tamanho de poro das amostras de 10% Ni / 90% Mg, determinada a partir das isotermas de adsorção na escala semi-logarítmica, pela técnica BJH	79
Figura 47 - Distribuição de área superficial do poro das amostras de 10%	79

Ni / 90% Mg, determinada a partir das isotermas de adsorção, pela técnica BJH

Figura 48 - Difratoograma da síntese #1 com 10%Ni/90%Mg analisado no software topas 4.2. 81

Figura 49 - Difratoogramas da amostra de MgO/Ni variando os parâmetros da síntese, foram analisadas pelo software topas 4.2, amostrando os picos e planos de difração. 81

Figura 50 - Difratoograma da síntese #7 com uma relação de 5%Ni/95%Mg, e síntese #8 com relação 15%Ni/85%Mg, analisada pelo software Topas. 82

Figura 51 - Difratoogramas das seis primeiras sínteses, amostrando a presença de uma fase única formada por (Ni,Mg)O. 84

Figura 52 - Difrações das sínteses com 5%Ni /95%Mg e 5% Ni /85%Mg, analisadas pelo software topas 4.2 85

Figura 53 - Espectro de absorção da MgO dopado com níquel. Baseado na função de Kabelka-Munk 87

Figura 54 - Primeira derivada do espectro de absorção com relação à energia do fóton das amostras de MgO/Ni e MgO. 87

Figura 55 (a) Imagem de (10%Ni/90% Al), (b) imagens de Al₂O₃. Após o tratamento térmico a 600° C por 2h, com amplificação de X 2.000. 88

Figura 57 - Difratoograma da primeira síntese com 10%Ni/90%Al e tratamento térmico a 600°C por 2 horas. 90

Figura 58 - Difratoogramas do sistema Al₂O₃/Ni e Al₂O₃. Com tratamento térmico a 600°C por 2 horas. 90

Figura 59 - Difratoogramas das amostras de Al₂O₃/Ni e Al₂O₃, mostrando os planos de difração do NiO. 91

Figura 60 - Isoterma de adsorção e dessorção de nitrogênio sobre a amostra de 10%Ni / 90%Al com uma relação de PVA/ água de 1/14. 93

Figura 61 - Isoterma de adsorção e dessorção de nitrogênio sobre a amostra de 10%Ni / 90%Al com uma relação de PVA/ água de 1/18. 93

Figura 62 - Distribuição de volume do poro das amostras de 10% Ni / 90% Al, determinada a partir das isotermas de adsorção na escala semi-logaritmica, pela técnica BJH. 94

Figura 63 - Distribuição de área superficial do poro das amostras de 10% Ni / 90% Al, determinada a partir das isotermas de adsorção, pela técnica BJH. 94

Figura 64 - Determinação da banda proibida de Al₂O₃/Ni e Al₂O₃, baseado na função de Kubelka-Munk. 96

Figura 65 - Primeira derivada do espectro de absorção das amostras de Al ₂ O ₃ dopados com Níquel.	96
Figura 66 - Imagem de 10%Ni/90% Zn, Após tratamento térmico a 600° C por 2h, com amplificação de 10,000X.	97
Figura 67 - Imagem de 10%Ni/90%Zn, Após tratamento térmico a 600° C por 2h, com amplificação de X35,000.	97
Figura 68 - Difratograma da síntese #1 com 10%Ni/90%Zn, mostrando os picos e planos característicos, analisados pelo software Topas.	98
Figura 69 - Difratograma das amostras analisadas amostrando as fases presentes em cada amostra: (a) 10% Ni / 90% Zn, (b) 10% Ni / 90% Zn com 1h de calcinação, (c) 100% Zn.	90
Figura 70 - Determinação da banda Proibida pelo método de Kubelka e Munk das amostras de 10%Ni/90%Zn e 100% Zn.	101
Figura 71 - Determinação da banda proibida pelo método da primeira derivada do espectro de absorção com repetido à energia do fóton das amostras de 100%Ni/90%Zn e 100%Zn.	101
Figura 72 - Imagem das amostras com CNTs, (a) catalisador 5%Ni-95%Mg, (b) catalisador 10%Ni-90%Mg, (c) catalisador 5%Ni-95%Mg e mudando a relação de PVA/água para 1/18 e (d) adicionando surfactante (SDS).	103
Figura 73 - Imagem da amostra com CNTs utilizando o catalisador de 15%Ni-85%Mg, após a crescimento pelo método de CVD com amplificação de X100,000.	103
Figura 74 - Difratograma da amostra com crescimento de CNTs, feito sobre o catalisador de 10%Ni/90%Mg.	104
Figura 75 - Difratograma das amostras com CNTs com diferentes catalisadores de MgO, dopado com Níquel metálico.	105
Figura 76 - Difratograma da amostra com crescimento de nanotubos de carbono e amostra com redução de Nio para Ni.	106
Figura 77 - Espectroscopia Raman do catalisador, apresentando as bandas características dos nanotubos confirmado que houve crescimento.	107
Figura 78 - Espectroscopia Raman das amostras com presença de nanotubos de carbono pode-se observado a presença das bandas características dos nanotubos de carbono.	108
Figura 79 - Análise da formação da banda-G para nanotubos multicamada (a) e nanotubos de camadas simples (b).	109
Figura 80 - Espectro Raman das amostras sem crescimento de nanotubos de carbono.	111

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Constante de Hamaker “A” para alguns materiais comuns.	29
Tabela 2 - Fórmulas simples para a atração de Van der Waals entre duas partículas	30
Tabela 3 - Reagentes utilizados na produção das amostras de MgO, Al ₂ O ₃ e ZnO dopados com níquel metálico.	63
Tabela 4 - Resumo da preparação das oito sínteses de MgO/Ni e MgO.	65
Tabela 5 - Resumo da preparação das três sínteses de Al ₂ O ₃ /Ni e Al ₂ O ₃ .	67
Tabela 6 - Resumo da preparação das três sínteses de ZnO/Ni e ZnO.	68
Tabela 7 - Tabela de comparação entre os valores teóricos e os valores obtidos das amostras.	77
Tabela 8 - Área superficial, volume do poro e tamanho do poro amostras de 10%Ni/90%Mg, determinadas a partir das isotermas de adsorção.	80
Tabela 9 - Parâmetro de avaliação do ajuste pelo software Topas, baseado no método de Rietveld.	83
Tabela 10 - Resumo das fases formadas nas oito experiências, percentagem de níquel na estrutura (Mg,Ni)O, calculados pelo software Topas 4.2	85
Tabela 11 - Valor da qualidade dos ajustes realizados pelo software Topa.	91
Tabela 12 - Tamanho dos cristalitos, grupo espacial das amostras analisadas pelo Software Topas 4.2, baseado no método Rietveld.	92
Tabela 13 - Área superficial, volume do poro e tamanho do poro amostras de 10%Ni/90%Al, determinadas a partir das isotermas de adsorção.	95
Tabela 14 - Parâmetro da qualidade do ajuste feito pelo software Topa 4.2. Das amostras de oxido de zinco dopadas com níquel metálico e ZnO.	99
Tabela 15 - Resumo do tamanho de cristalito, fases e parâmetros da rede cristalina nas amostras de ZnO/Ni e ZnO.	100

Abreviações

CVD	Deposição Química de Vapor
SWCNTs	Nanotubos de carbono de Paredes Simples
MWCNTs	Nanotubos de Carbono de Paredes Múltiplas
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
BET	Teoria de adsorcao Multimolecular desenvolvido por Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett,EmmettTeller
BJH	Modelo de Barret, Joyner e Hollenda
GOF	Qualidade do ajuste (Goodnes of Fit)
FEG-MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura com emissão de campo