



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIAS ESPACIAIS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SENSORES E MATERIAIS

PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO

“ESTUDO DOS FENÔMENOS FÍSICO-QUÍMICOS NA PRODUÇÃO
DE ÍONS EM UM REATOR TIPO HFCVD”

Aluna: Viviane Ribeiro de Siqueira

Orientadores: Prof. Dr. Maurício Ribeiro Baldan

Prof. Dr. Jerônimo dos Santos Travelho

Laboratório Associado de Sensores e Materiais – LAS

Centro de Tecnologias Espaciais – CTE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

INPE

São José dos Campos

Junho/2004

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	03
CAPÍTULO 2 - JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO	06
CAPÍTULO 3 –OBJETIVO	07
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA	09
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS ESPERADOS	13
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
APÊNDICE A - CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	15
APÊNDICE B – DIMENSÕES DO REATOR HFCVD	16
APÊNDICE C – ESQUEMAS DO CRESCIMENTO DO FILME DE DIAMANTES	17

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O presente trabalho está sendo proposto dentro da linha de pesquisa e desenvolvimento do grupo DIMARE (**D**iamantes e **M**ateriais **R**elacionados) na área de crescimento por deposição química a partir da fase vapor de filmes finos e auto sustentados de diamante.

Os fenômenos físico-químicos que pretendemos estudar ocorrem dentro de um reator tipo HFCVD (Hot Filament Chemical Vapor Deposition), deposição química a partir da fase vapor assistido por filamento quente. Esse reator pode ser basicamente como um tubo de Pyrex de 60 mm de diâmetro e 250 mm de comprimento com duas tampas de alumínio nas extremidades por onde são introduzidos os aparatos necessários ao funcionamento. A temperatura do filamento é da ordem de 2000°C e a temperatura do substrato é da ordem de 800°C. A pressão interna é de 20 Torr e a vazão é de 100 mililitros por minuto. Como o fluxo é bastante baixo, os fenômenos predominantes são convecção natural e difusão térmica conforme mostrado em [4]. As dimensões desse reator são descritas em detalhes em [Apêndice A].

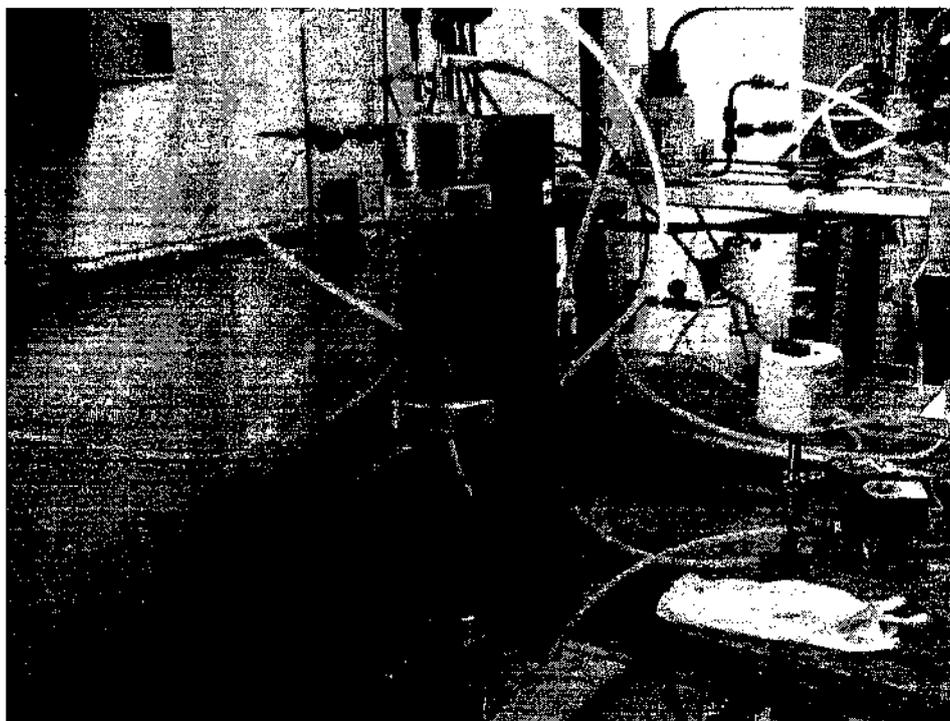


Figura 1 – Foto do reator de diamantes HFCVD

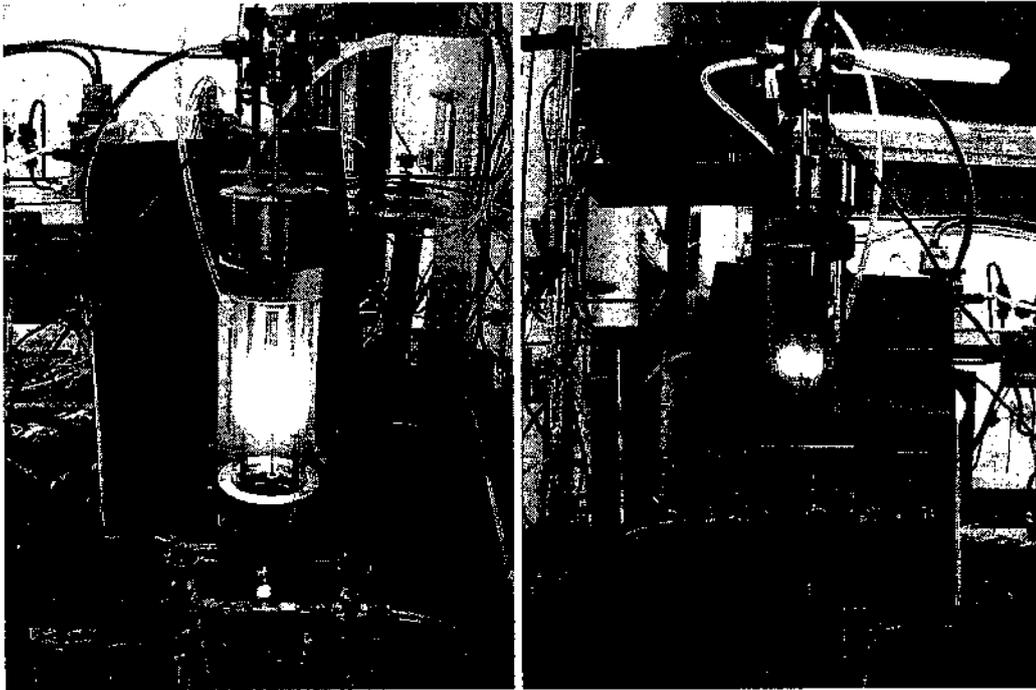


Figura 2 – Fotos do reator de diamantes HFCVD durante o processo de crescimento

Durante o processo de crescimento dos filmes de diamante ocorrem vários fenômenos dentro do reator principalmente na região que engloba o filamento e o substrato. Para o crescimento é introduzida uma mistura de gases no reator. Neste trabalho a mistura gasosa será composta de 99% de H_2 e 1% de CH_4 . Observando a figura 3 percebemos que essa mistura passa por um meio de ativação, uma fonte de calor chamada filamento quente, onde reage para produzir as espécies precursoras responsáveis pelo crescimento do filme. Após a ativação essas espécies são transportadas até a superfície de crescimento. Através do processo de convecção algumas espécies serão transportadas para outras partes do reator.

Segundo Tankala e DebRoy[5], o hidrogênio atômico é muito importante no crescimento de um filme de diamante de boa qualidade. Em muitas técnicas de deposição de diamantes à baixa pressão, a molécula de hidrogênio é usada em abundância para gerar significantes quantidades de hidrogênio atômico no reator. Perto do filamento acontece a quebra das moléculas de hidrogênio, assim como a quebra das moléculas de CH_4 . O hidrogênio atômico se mistura com os gases presentes no reator onde muitos deles são consumidos por várias reações, formando assim outras espécies como CH_3 e C_2H_2 , mas uma quantidade significativa reage com a superfície do substrato. Quando os átomos de hidrogênio são ligados a átomos de carbono na superfície de crescimento, eles estabilizam ligações sp^3 necessárias para a formação do diamante.

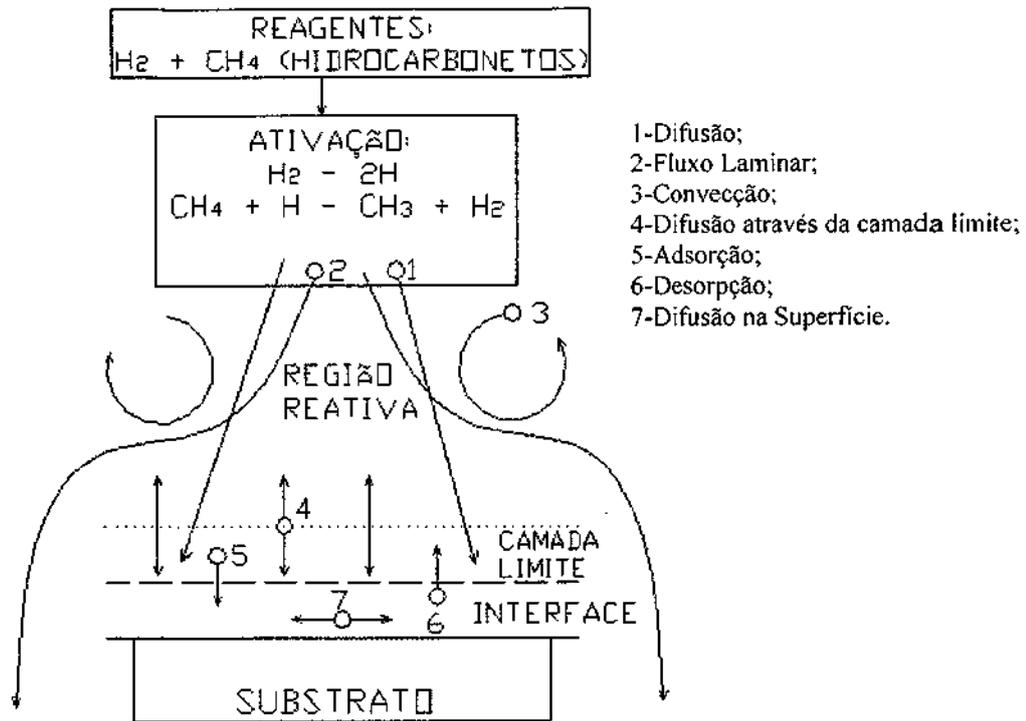


Figura 3 –Figura esquemática do processo de crescimento

Desta maneira podemos observar que o filamento tem uma função muito importante no processo de crescimento dos filmes de diamante. Ele é o responsável pela quebra do hidrogênio molecular em hidrogênio atômico e também pela formação de outras espécies químicas. As reações químicas que ocorrem entre o filamento e o substrato são algo de muito interesse para o nosso trabalho pois propomos estudar os fenômenos físicos-químicos que ocorrem perto da superfície do filamento para obter os perfis de temperatura e concentração de espécies formadas perto do mesmo. No [Apêndice C] é ilustrado um esquema bem simplificado do crescimento do diamante.

CAPÍTULO 2

JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Desde 1991 o INPE vem desenvolvendo a área de crescimento de diamantes CVD no grupo DIMARE. Ao longo destes últimos anos o grupo teve uma participação efetiva na formação de recursos humanos. A pesquisa tem sido calcada na busca de princípios básicos do processo, mas com o objetivo final de obter produtos aplicáveis. O nosso grupo obteve sucesso, tanto em contribuições fundamentais, quanto no desenvolvimento de aplicações.

O grupo é consolidado na parte experimental, com muitos trabalhos publicados e projetos em andamento. Com a execução deste projeto, o grupo também contará com a parte de simulação numérica, o que possibilitará a comparação dos dados experimentais com os dados numéricos. Em mecânica dos fluidos, a simulação numérica tem se firmado como ferramenta capaz de permitir grande economia, tanto de dinheiro como de tempo, no desenvolvimento de projetos, principalmente em casos onde é muito caro ou inviável a execução de um experimento.

Assim, a proposta deste trabalho é bastante inovadora pois pretende contribuir para o desenvolvimento da simulação numérica dentro do grupo DIMARE, implementando diferentes técnicas para um maior entendimento dos fenômenos que ocorrem durante o processo de crescimento do diamante. Com a implementação dessas técnicas podemos simular inúmeras vezes os muitos fenômenos que ocorrem durante o crescimento e analisando todas essas simulações podemos tornar os processos experimentais mais otimizados, facilitando a execução de experimentos, tornando o produto final, o filme de diamante, com melhor qualidade e melhor taxa de crescimento.

CAPÍTULO 3

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é implementar um modelo numérico para obter a taxa de concentração de espécies dentro do reator. Neste trabalho iremos estudar a região que engloba o filamento, uma vez que os precursores responsáveis pela nucleação e crescimento do diamante são gerados próximos ao mesmo. Para tanto assumiremos um raio crítico muito próximo ao filamento, onde as reações químicas acontecem.

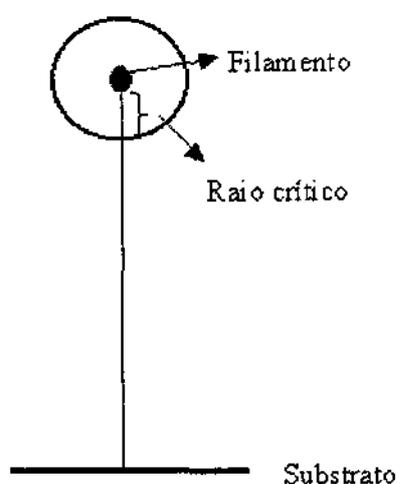


Figura 4 – Figura esquemática do reator de diamantes HFCVD em uma dimensão

Dentro dos limites do raio crítico ocorre a quebra do hidrogênio molecular em hidrogênio atômico e também a quebra do metano e a formação dos radicais. Segue abaixo algumas possíveis reações. Cabe lembrar que alguns modelos, tais como Coltrin et al[10], consideram até 70 reações na fase gasosa.

Na fase gasosa:

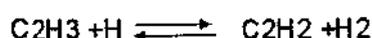
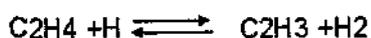
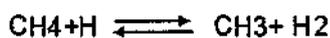


Figura 5 – Algumas reações que ocorrem na região do raio crítico na fase gasosa

De todas as reações químicas que ocorrem no raio crítico daremos ênfase ao estudo da concentração do radical metila, CH_3 , pois ele, segundo alguns autores, [11], é o principal responsável pela formação do filme de diamante. Além da concentração do CH_3 também pretendemos obter a concentração do H e também obter o perfil de temperatura dentro da região do raio crítico.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

Para se obter os perfis de temperatura e concentração de espécies numericamente, precisamos utilizar um modelo para simular computacionalmente os fenômenos físicos que ocorrem durante o processo de crescimento dos filmes de diamantes. Para simular esses fenômenos é necessário dividir a região de estudo, denominada domínio, em um conjunto de pontos ou subdomínios. À região formada por estes pontos ou subdomínios damos o nome de malha. Cada subdomínio da malha recebe o nome de célula.

O modelo numérico será baseado em uma malha unidimensional, sendo esta mais refinada próximo ao filamento. Consideraremos o caso estacionário, isto é, independente do tempo, e não consideraremos o processo de convecção. Para discretizar as equações utilizaremos o método dos volumes finitos. Neste método se aplica as equações de balanço a cada célula da malha. Se os fluxos forem calculados corretamente nas faces das células se garante que as equações de balanço serão válidas para qualquer grupo de células vizinhas. Neste trabalho optamos também em calcular o valor das grandezas no centro de cada célula.

As equações utilizadas neste trabalho serão discretizadas em coordenadas cilíndricas. Nesta proposta colocaremos as equações em sua forma geral.

A equação de balanço de espécies é dada por:

Produção ou destruição de massa da espécie K por reação química	=	Transporte difusivo
--	---	----------------------------

$$w_i^K = \left(\rho Y^K V_i^K \right)_{,i} \quad (1)$$

onde: i = coordenadas r, θ, z ;

w^K = produção ou destruição de massa da espécie K por reação química;

ρ = densidade;

Y^K = fração mássica da espécie K;

V_i^K = velocidade de difusão da espécie K na coordenada i .

A equação da conservação da energia é dada por:

$$\boxed{\text{O aumento da entalpia devido à difusão}} = \boxed{\text{Fluxo de Calor}} + \boxed{\text{Energia cinética de difusão}}$$

$$\left(\rho \sum_K Y^K h^K V_j^K \right)_{,j} = -q_{j,j} + \frac{1}{2} \left(\rho \sum_K Y^K V_i^K V_j^K V_j^K \right)_{,i} \quad (2)$$

onde: i, j = coordenadas r, θ, z ;

ρ = densidade;

Y^K = fração mássica da espécie K

h^K = entalpia da espécie K ;

V_i^K = velocidade de difusão da espécie K na coordenada i ;

V_j^K = velocidade de difusão da espécie K na coordenada j ;

$q_{j,j}$ = fluxo de calor.

A equação de difusão multicomponente é dada por:

$$\boxed{\text{Fração molar}} = \boxed{\text{Transporte difusivo}} + \boxed{\text{Difusão térmica}}$$

$$\nabla_x X_K = \sum_{L=1}^N \left(\frac{X_K X_L}{D_{KL}} \right) (V_L - \bar{V}_K) + \sum_{L=1}^N \left[\left(\frac{X_K X_L}{\rho D_{KL}} \right) \left(\frac{D_{T,L}}{Y_L} - \frac{D_{T,K}}{Y_K} \right) \right] \left(\frac{\nabla_x T}{T} \right) \quad (3)$$

onde: X_K = fração molar da espécie K ;

X_L = fração molar da espécie L ;

D_{KL} = coeficiente de difusividade térmica das espécies KL ;

V_K = velocidade de difusão da espécie K ;

V_L = velocidade de difusão da espécie L ;

$D_{T,K}$ = coeficiente de difusividade térmica da espécie K na mistura multicomponente;

$D_{T,L}$ = coeficiente de difusividade térmica da espécie L na mistura multicomponente;

ρ = densidade;

Y_K = fração mássica da espécie K ;

Y_L = fração mássica da espécie K;

T = temperatura.

Para obter o fluxo de calor utilizamos a seguinte equação:

Fluxo de Calor	=	Condução de Calor	+	O aumento da entalpia devido à difusão	+	Transporte de energia devido à difusão térmica
----------------	---	-------------------	---	--	---	--

$$q = -\lambda \nabla_x T + \rho \sum_K h_K Y_K \bar{V}_K + R^0 T \sum_{K=1}^N \sum_{L=1}^N \left(\frac{X_L D_{T,K}}{W_K D_{KL}} \right) (\bar{V}_K - \bar{V}_L) \quad (4)$$

onde: q = fluxo de calor;

λ = condutividade térmica;

T = temperatura;

ρ = densidade;

h_K = entalpia da espécie K;

Y_K = fração mássica da espécie K;

V_K = velocidade de difusão da espécie K;

R^0 = constante universal dos gases;

X_L = fração molar da espécie L;

$D_{T,K}$ = coeficiente de difusividade térmica da espécie K na mistura multicomponente;

D_{KL} = coeficiente de difusividade térmica das espécies KL;

V_L = velocidade de difusão da espécie L.

Para resolver esse sistema de equações iremos implementar um algoritmo iterativo de solução, onde as equações serão resolvidas separadamente, apesar de estarem acopladas. Esse algoritmo executará os seguintes passos:

- 1) Leitura dos dados da geometria da malha computacional a ser utilizada e cálculo dos coeficientes que dependem da mesma.
- 2) Leitura das condições de contorno e das condições iniciais do problema.
- 3) Cálculo da velocidade de difusão da espécie K a partir da equação de balanço de espécies - equação (1).

- 4) Cálculo fração molar da espécie K a partir da equação de conservação da energia – equação 2.
- 5) Cálculo do fluxo de calor a partir da equação de difusão multicomponente – equação 3.
- 6) Cálculo do gradiente de temperatura a partir da equação de fluxo de calor – equação 4.
- 7) Cálculo da velocidade de difusão da espécie K a partir da equação de difusão multicomponente – equação 3.
- 8) Cálculo da produção ou destruição de massa da espécie K por reação química a partir da equação de balanço de espécies - equação (1).
- 9) Volta ao passo 4 e repete todo o processo até conseguir atingir os critérios de convergência.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS ESPERADOS

Após a discretização das equações e sua implementação computacional espera-se obter o perfil de temperatura e a taxa de crescimento do diamante crescido. Com esses resultados poderemos comparar com os resultados analíticos obtidos por Travelho e Baldan em [4] e também comparar com dados experimentais. Analisando os resultados numéricos que obteremos esperamos também conseguir obter a distância ótima entre o filamento e o substrato, a distância ótima entre filamentos paralelos para produzir diamantes de boa qualidade e com taxas de crescimento satisfatórias.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anthony, T. R.; "Cylindrically Symmetric Diamond Parts by Hot-filament CVD", *Diamond and Related Materials* 6, 1707 (1997)
2. Behrendt, F.; Deutschmann, O.; Ruf, B.; Warnatz, J.; "Numerical Study of Apparent Activation Energies of Diamond Growth Rates in Hot Filament Chemical Vapor Deposition Systems", *JVST A - Vacuum, Surfaces and Films*, (Accepted 12-Feb-1996)
3. Goodwin, D. G.; Gavillet, G. G.; "Numerical Modeling of the filament-assisted diamond growth environment", *J. Appl. Phys.* Vol:68(12) 6393 (1990)
4. Travelho, J. S.; Baldan, M. R.: "Study of rate growth on Diamond CVD", to be published
5. Tankala, K.; DebRoy, T.; "Modeling of the role of atomic hydrogen in heat transfer during hot filament assisted deposition of diamond", *J. Appl. Phys.* 72(2), 712 (1992)
6. Patankar, S. V., "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", McGraw-Hill (1980)
7. Bird, R. B.; Stewart, E.; Lighfoot, E. N.; "Transport Phenomena", Willey (1960)
8. Kuo, K. K.; "Principles of Combustion", John Wiley & Sons (1986)
9. Williams, F. A.; "Combustion Theory", Princeton University (1985)
10. Coltrin, M. E.; Dandy, D. S.; "Analysis of diamond growth in subatmospheric of plasma-gun reactor", *J. Appl. Phys.* 74(9), 5803 (1993)
11. Tsuda, M.; Nakajima, M.; Oikawa, S.; "Epitaxial growth mechanism of diamond crystal in methane-hydrogen plasma", *J. Am. Chem. Soc.* 108, 5780 (1986)

APÊNDICE A - CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

Atividade	Trimestre					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
1. Atividades acadêmicas (créditos em disciplina)	X	X	X			
2. Revisão bibliográfica e exame de proposta de dissertação			X	X		
3. Estudo dos fenômenos que ocorrem no processo de crescimento				X	X	
4. Implementação do modelo computacional				X	X	
5. Redação e defesa da dissertação					X	X

APÊNDICE B - DIMENSÕES DO REATOR HFCVD

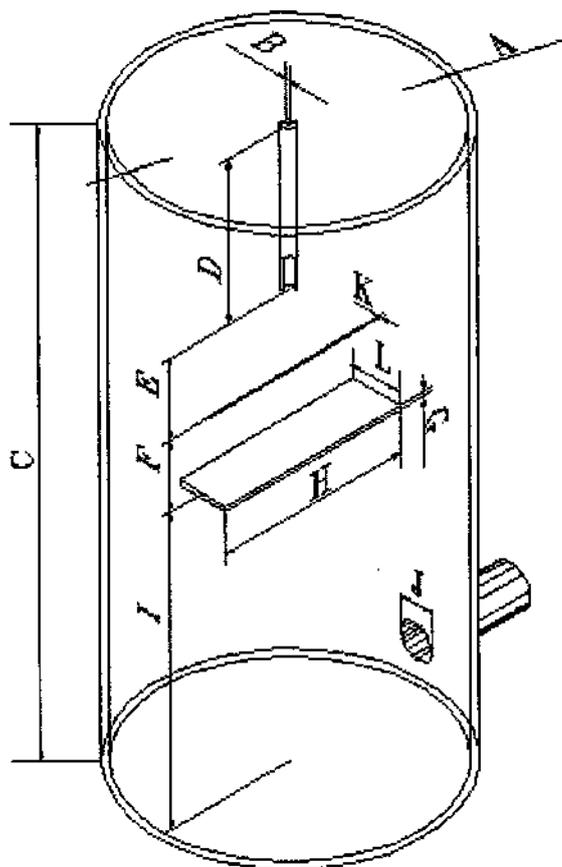


Figura 6 – Figura esquemática do reator de crescimento de diamantes HFCVD em três dimensões

- A. Diâmetro do reator: 5.7 cm interior e 6.1 cm exterior.
- B. Diâmetro do tubo de entrada de gases: 0.18 cm interior e 0.31 cm exterior.
- C. Altura do reator: ~ 21 cm.
- D. Altura do tubo de entrada de gases: ~ 9.7 cm.
- E. Altura entre filamento e tubo de entrada de gases: ~ 3.6 cm.
- F. Altura entre o porta substrato e filamento: entre 0.5 cm e 0.7 cm, sendo o mais usado 0.7 cm.
- G. Espessura do porta substrato: 0.2 cm.
- H. Largura do porta substrato: 4.7 cm.
- I. Altura entre o porta substrato e fundo do reator: ~ 7 cm.
- J. Diâmetro do cano de saída de gás: 0.48 cm interior e 0.63 cm externo.
- K. Diâmetro do filamento: entre 60 μm e 300 μm , sendo o mais usado: 250 μm com um fio espiralado de 3 cm temos 6 espirais de 0.3 cm de diâmetro cada.
- L. Profundidade do porta substrato: 1 cm.

APÊNDICE C – ESQUEMAS DO CRESCIMENTO DO FILME DE DIAMANTES

A estrutura cristalina é a menor parte de um material, também conhecida como célula unitária. Essa estrutura pode conter um ou vários átomos ou até mesmo um conjunto de moléculas. A estrutura cristalina do diamante é cúbica de face centrada (FCC).

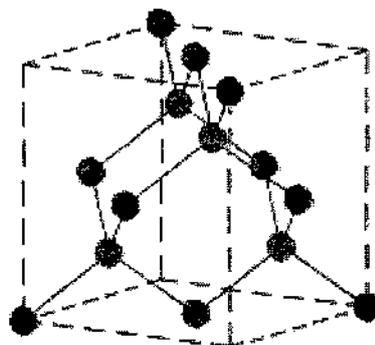


Figura 7 –Figura esquemática da estrutura cristalina do diamante

Na figura acima os átomos da cor preta estão nos vértices da célula unitária, os átomos da cor azul estão no centro das faces e os átomos da cor vermelha estão a $\frac{1}{4}$ das diagonais principais a partir dos átomos dos vértices.

A estrutura cristalina se repete inúmeras vezes formando assim a rede cristalina. O diamante é uma forma cristalina de carbono.

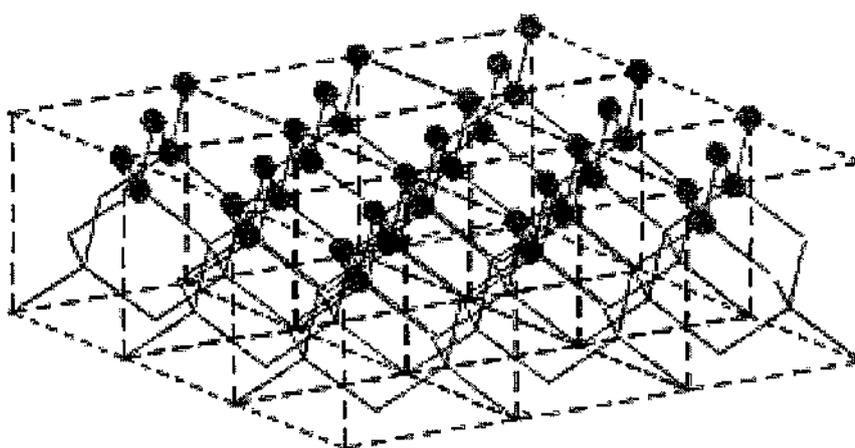


Figura 8 –Figura esquemática da rede cristalina do diamante

Nas figuras abaixo será esquematizado o processo de crescimento dos filmes de diamante. Após as moléculas terem passado pelo meio de ativação acontece a quebra das moléculas de hidrogênio, a quebra das moléculas de metano e a formação de radicais como CH_3 .

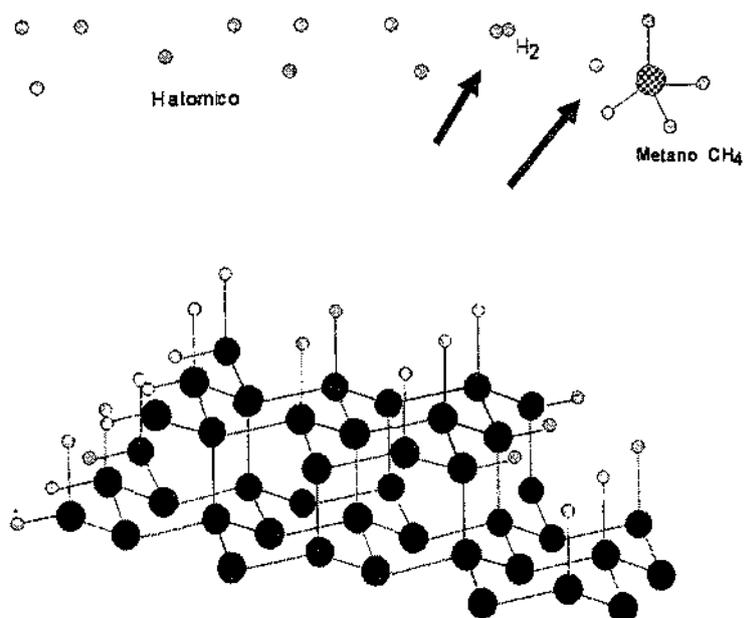


Figura 9 – Figura esquemática do crescimento do filme de diamantes

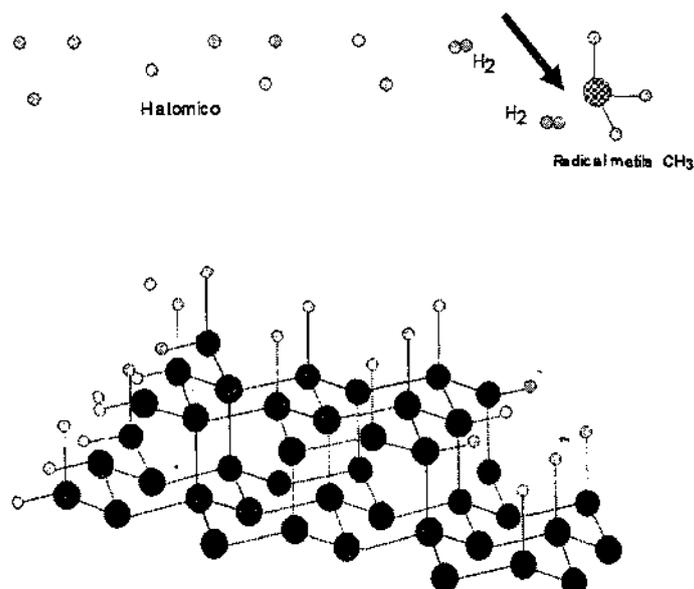


Figura 10 – Figura esquemática do crescimento do filme de diamantes: quebra das moléculas e formação dos radicais

Os hidrogênio atômicos que se encontram no gás se recombinam com outros hidrogênio atômicos que estão na superfície do substrato liberam sítios na superfície:

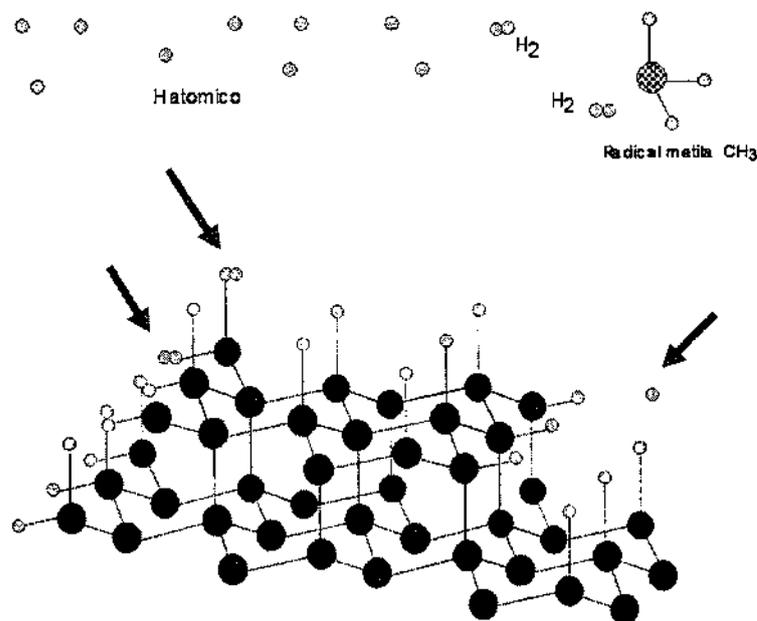


Figura 11 – Figura esquemática do crescimento do filme de diamantes: o hidrogênio atômico se recombinado com outros hidrogênio atômicos na superfície de crescimento

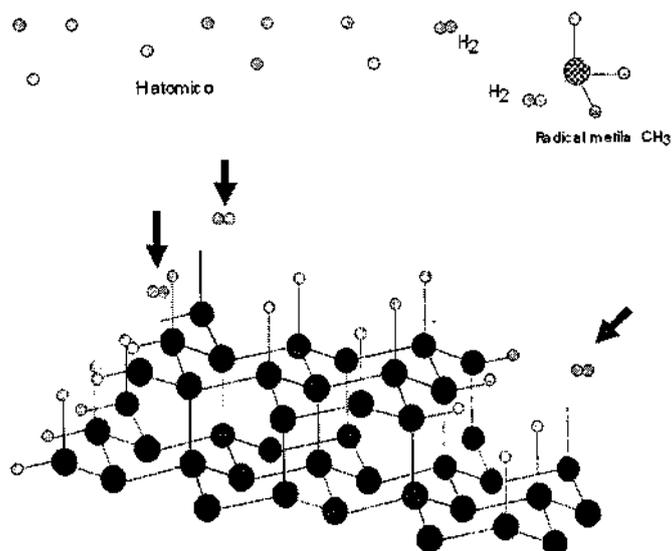


Figura 12 – Figura esquemática do crescimento do filme de diamantes: após a recombinação há a formação de sítios na superfície de crescimento

Começam a surgir radicais perto da superfície do substrato. Na superfície os átomos de carbono se ligam com os átomos de hidrogênio formando ligações sp^3 .

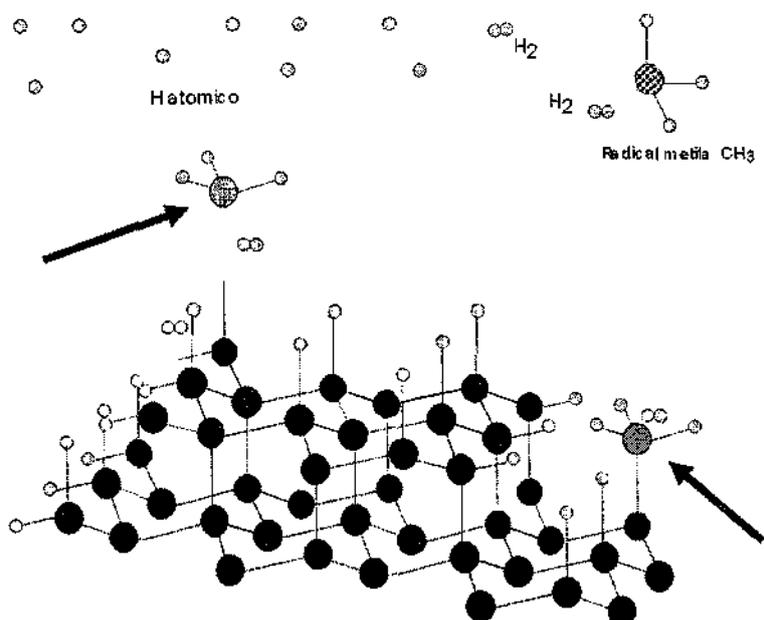


Figura 13 – Figura esquemática do crescimento do filme de diamantes: a recombinação dos radicais na superfície de crescimento (formação das ligações sp^3 necessárias para a formação do diamante)

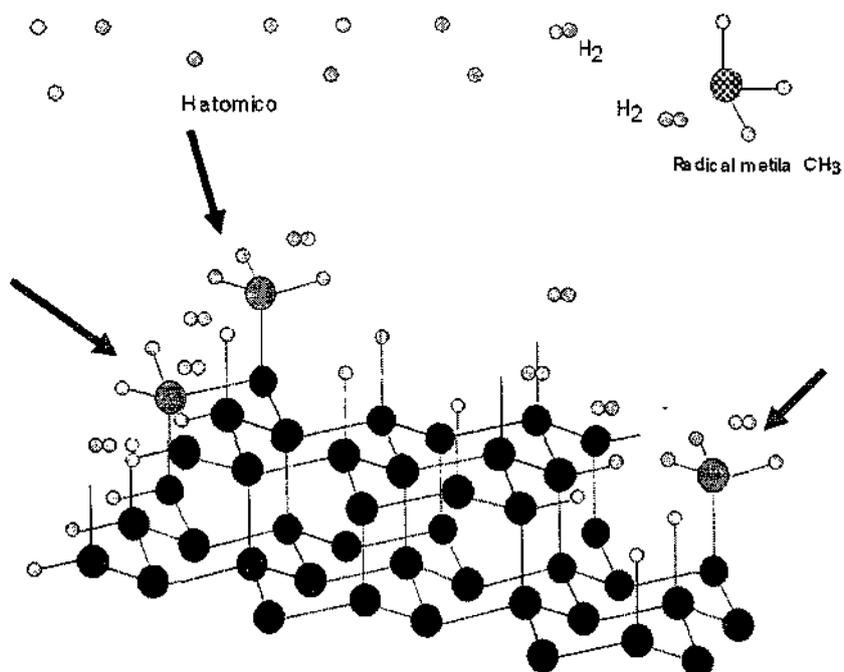


Figura 14 – Figura esquemática do crescimento do filme de diamantes: a recombinação dos radicais na superfície de crescimento (formação das ligações sp^3 necessárias para a formação do diamante)

Começa a aumentar a cadeia com o aparecimento dos radicais. O hidrogênio atômico continua se ligando com outros hidrogênio atômicos, ficando assim somente o carbono nas camadas mais inferiores:

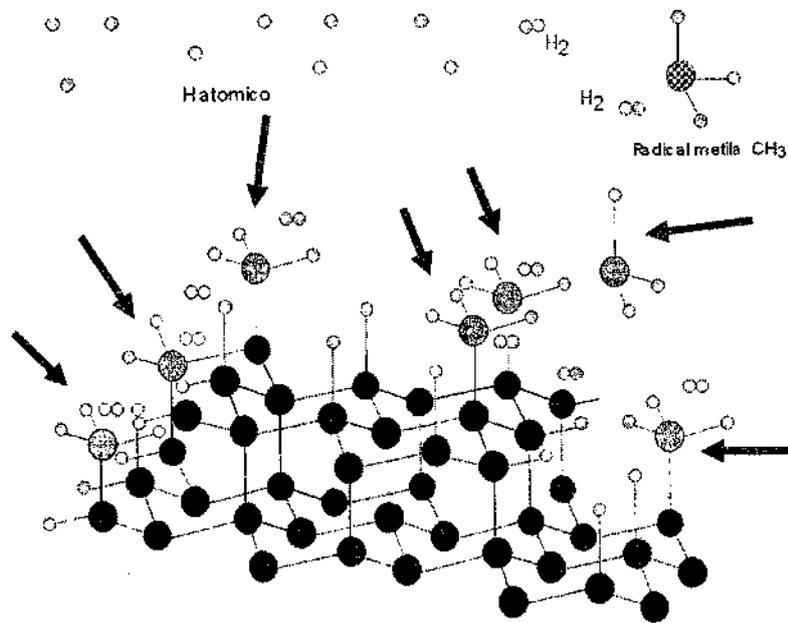


Figura 15 – Figura esquemática do crescimento do filme de diamantes: a recombinação dos radicais na superfície de crescimento (formação das ligações sp^3 necessárias para a formação do diamante)

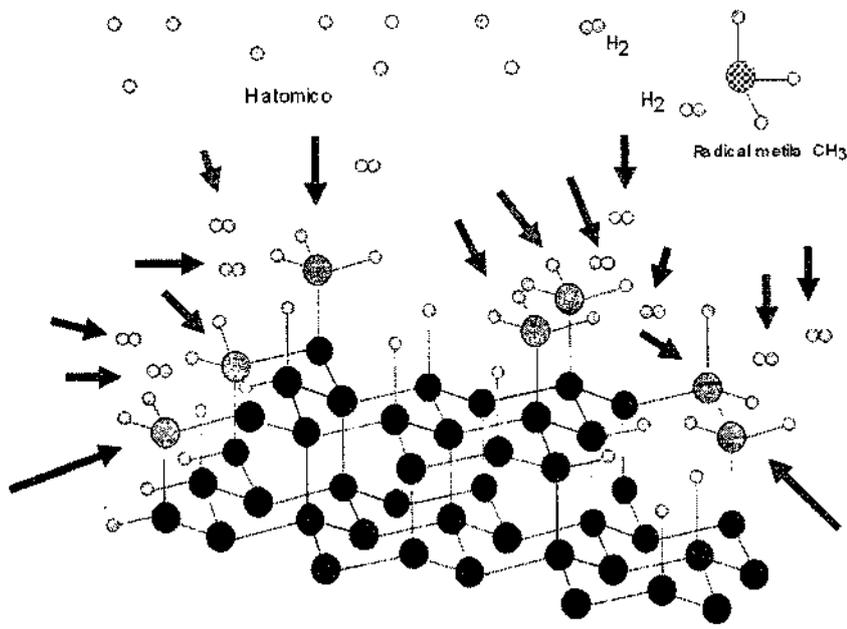


Figura 16 – Figura esquemática do crescimento do filme de diamantes: a recombinação dos radicais na superfície de crescimento (formação das ligações sp^3 necessárias para a formação do diamante)

4.6 PUBLICAÇÃO INTERNA (PI)

1. PATRÍCIA GUIMARÃES ABRAMOF E ANTONIO YUKIO UETA. Estudo da Reflexão de Raios X em Incidência Rasante em Filmes Finos e Estruturas Multicamadas. Monografia. INPE/NTC. (INPE-11671-PUD/161).
2. ALEXANDRE MIRANDA PIRES DOS ANJOS E EDUARDO ABRAMOF . Estruturas moduladas de compostos semicondutores IV-VI com európio crescidas por epitaxia de feixe molecular. Projeto de Tese de Doutorado. INPE/PRP. (INPE-11661-PUD/152).
3. ANDRÉ SANTIAGO BARROS E EDUARDO ABRAMOF. Caracterização elétrica de junções p-n de PbTe para aplicação em detectores de infravermelho. Projeto de Dissertação de Mestrado. INPE/PRP. (INPE-11651-PUD/142).
4. DANIELI APARECIDA PEREIRA REIS, COSME ROBERTO MOREIRA DA SILVA E MARIA DO CARMO DE ANDRADE NONO. Mecanismos de fluência em metais. Monografia. INPE/NTC. (INPE-11653-PUD/144).
5. HAINE BECK E MARIA DO CARMO DE ANDRADE NONO. Estudo do comportamento mecânico de cerâmicas de $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ sinterizadas via fase vítrea visando aplicações estruturais. Projeto de Dissertação de Mestrado. INPE/PRP. (INPE-11667-PUD/158).
6. ÚRSULA ANDRÉIA MENGUI ANTONIO YUKIO UETA. Crescimento por MBE e caracterização estrutural de camadas epitaxiais de $\text{Sn}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ sobre BaF_2 . Projeto de Dissertação de Mestrado. INPE/PRP. (INPE-11672-PUD/162).
7. DANIEL SOARES DE ALMEIDA, COSME ROBERTO MOREIRA DA SILVA E MARIA DO CARMO DE ANDRADE NONO. Manufatura de Revestimentos como Forma de Barreira Térmica pelo Processo de Deposição Física de Vapores por Feixe de Elétrons. Projeto de Tese de Doutorado. INPE/PRP. (INPE-11664-PUD/155).
8. FERNANDO CRUZ BARBIERI JOSÉ EVALDO CORAT. Filmes intermediários para deposição de diamantes. Projeto de Tese de Doutorado. INPE/PRP. (INPE-11666-PUD/157).
9. MÍRIAM KASUMI HWANG, COSME ROBERTO MOREIRA DA SILVA E MARIA DO CARMO DE ANDRADE NONO. Processamento e caracterização mecânica e microestrutural de SiC aditivado com alumina e concentrado de ítrio e terras raras. Projeto de Tese de Doutorado. INPE/PRP. (INPE-11662-PUD/153).
10. ÉRICA CRISTINA ALMEIDA E NEIDENÊI GOMES FERREIRA. Mecanismo de Intercalação de íons de lítio em materiais SP^2 grafíticos e não-grafíticos. Monografia. INPE/NTC. INPE/PRP. (INPE-11655-PUD/146).
11. SERGIO LUIZ MINEIRO E MARIA DO CARMO DE ANDRADE NONO. Desenvolvimento e estudo das propriedades mecânicas de cerâmicas de zircônia-

22. YULIYA KOLDAYEVA, MARIA DO CARMO DE ANDRADE NONO E PEDRO JOSÉ DE CASTRO. Cerâmicas de $Ba_2Ti_9O_{20}$ dopadas com ZrO_2 para ressoadores dielétricos em microondas. Projeto de Dissertação de Mestrado. INPE/PRP. (INPE-11652-PUD/143).
23. RODRIGO DE MATOS OLIVEIRA E MARIA DO CARMO DE ANDRADE NONO. Caracterização de Cerâmicas Sensoras de Umidade de Solo. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE). INPE/PRE. – Iniciação Científica.
24. MARCEL WADA E MARIA DO CARMO DE ANDRADE NONO. Caracterização de Cerâmicas Sensoras de Umidade de Solo. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE). INPE/PRE. (INPE-11575-PRE/6961). – Iniciação Científica.
25. DANIEL MOURA E MARCOS DIAS DA SILVA. “Caracterização da Permeabilidade à Água de Elementos Cerâmicos de $TiO_2 - ZrO_2$ por Técnicas Fotoacústicas para Aplicação em Sensores de Umidade. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE). INPE/PRE. (INPE-11543-PRE/6932). – Iniciação Científica.
26. CLÁUDIA RENATA BORGES MIRANDA. Estudo de Filmes de PbTe Eletrodepositado em Silício Poroso. Proposta de Dissertação. (INPE-11656-PUD/147).

ARTIGOS

1. ALMEIDA, D. S.; SILVA, C.R.M.; NONO, M.C.A.; CAIRO, C.A.A. “EB-PVD TBCs of Zirconia Co-doped with Ytria and Niobia, a Microstructural Investigation”.
2. ALMEIDA, E.C.; DINIZ, A.V.; ROSOLEM, J.M.; TRAVA-AIROLDI, V.J.; FERREIRA, N.G. “Structural and voltammetric studies at boron-doped diamond electrode grown on carbon felt produced from different temperatures
3. ALMEIDA, E.C.; ROSOLEM, J.M.; TRAVA-AIROLDI, V.J.; FERREIRA, N.G. “Electrochemical insertion of lithium into doped diamond grown on carbon felt substrates”.
4. ALMEIDA, E.C.; DINIZ, A.V.; TRAVA-AIROLDI, V.J.; FERREIRA, N.G. “Electrochemical characterization of doped-diamond-coated carbon fibers at different boron concentrations”.
5. PERSSON, C., DE ALMEIDA, J. S., SOUZA DANTAS, N., AHUJA, R., DA SILVA JR.; E. F.; PEPE; I. FERREIRA DA SILVA, A. “Electronic Band Structure, Effective Masses, Optical Absorption and Dielectric Function of Rutile Titanium Dioxide”. (INPE-11638-PRE/7019).

6. FERREIRA DA SILVA, A.; SOUZA DANTAS, N.; DE ALMEIDA, J. S.; AHUJA, R.; PERSSON, C.. "Electronic and Optical Properties of Wurtzite and Zinc-Blende TiN and AlN". (INPE-11639-PRE/7020).
7. FERREIRA DA SILVA, A.; SOUZA DANTAS, N.; DA SILVA JR, E. F.,; PEPE, I., TORRES, M.O.; PERSSON, C.; LINDGREN, T.; SOUZA DE ALMEIDA, J.; AHUJA, R. "Electronic and Optical Properties of TiO₂". (INPE-11640-PRE/7021).
8. FONSECA, S. T.; NONO, M. C. A.; KURANAGA, C. AND FONSECA, T. R. The influence of the SrO₂ on the Ba₂Ti₉O₂₀ ceramic microstructure for dielectric resonator applications.
9. HWANG, M.K.; SILVA, C.R.M.; NONO, M.C.A.; Vieira, R.A. Sinterização por prensagem a quente de SiC com adição de Al₂O₃ e concentrado de terras raras". (INPE-11642-PRE/7023)
10. KOLDAYEVA, Yu.; NONO, M.C.A.; CASTRO, P.J. "ZrO₂ Influence on microstructure and microwave characteristics of Ba₂Ti₉O₂₀ dielectric resonators for telecommunication applications".
11. LOBO, A.O.; MARIN, E.F.; ANTUNES, E.F.; TRAVA-AIROLDI, V.J.; CORAT, E.J. "Caracterização de materiais carbonosos por espectroscopia Raman".
12. PINTO NETO, A.; MOURA, D.; KURANAGA, C.; SILVA, M.D.; MIRANDA, L.C.M. "Adsorption and desorption kinetics in ZrO₂ – TiO₂ ceramics by photoacoustic techniques".
13. REIS, D.A.P.; SILVA, C.R.M.; NONO, M.C.A.; BARBOZA, M.J.R.; PIORINO F.; PEREZ, E.A.C.; TADDEI, E.B. "Effect of the Atmosphere in Creep of Ti-6Al-4V Alloy". (INPE-11646-PRE/7027).
14. VIEIRA R. A.; NONO, M. C. A. "AFM analyses of TiN thin films deposited on AISI D6 tool steel". (INPE-11648-PRE/7029).
15. VIEIRA R. A.; NONO, M. C. A. "AFM Analyses of TiN thin films deposited on AISI M2 speed steel". (INPE-11647-PRE/7028).



Título

1306

LISTA ANEXA

Autor

LISTA ANEXA

Tradutor

Editor

Origem	Projeto	Série	No. de Páginas	No. de Fotos	No. de Mapas
LAS/CTE					

Tipo

RPQ PRE NTC PRP MAN PUD TAE

Divulgação

Externa Interna Reservada Lista de Distribuição Anexa

Periódico / Evento

Convênio

Autorização Preliminar

___/___/___
Data

Eduardo Romão
Titular da Unidade

Revisão Técnica

Solicitada Dispensada

Recebida ___/___/___ Devolvida ___/___/___

~~HORACIO HIDEKI YANASSI
Chefe do
Centro de Tecnologias Especiais
Titular de Nível "A"~~

Assinatura do Revisor

Revisão de Linguagem

Solicitada Dispensada

Recebida ___/___/___ Devolvida ___/___/___

~~HORACIO HIDEKI YANASSI
Chefe do
Centro de Tecnologias Especiais
Titular de Nível "A"~~

Assinatura do Revisor

Autorização Final

___/___/___
Data

Eduardo Romão
Titular da Unidade

Palavras Chave



Secretaria	
_ / _ / _ Data	Recebida _ / _ / _ Devolvida _ / _ / _
_____	_____
Encaminhado Por	Devolvido Por

Controle e Divulgação	
_ / _ / _ Data	Recebido Por: _____
	Devolvido Para: _____
Pronto Para Publicação em: _ / _ / _	_ / _ / _ Data
No. _____ Quant. _____	_____
	Assinatura

Observações
Projetos de Dissertações e de Teses.