

## 8 Conclusões e Perspectivas Futuras

Dentro deste trabalho tem sido mostrado claramente como a dopagem com nitrogênio pode ser utilizada como um método de funcionalização para ambos a dopagem e o revestimento de nanotubos. Algumas propriedades foram analisadas em detalhe como o perfil de incorporação do nitrogênio, a quantidade de N incorporada e a utilização dos diferentes catalisadores e fontes.

Dos experimentos que foram feitos para tentar controlar a síntese dos nanotubos dopados com nitrogênio, foi percebida a importância de utilizar uma fonte pura de C/N quando se trabalha em condições de alto vácuo. Foi observado que a máxima quantidade de N incorporada em uma amostra de benzilamina foi de 2%at. e 6% para o acetonitrilo.

Por outro lado, quando se utiliza misturas de acetonitrilo/etanol, fica claro que a composição da atmosfera de reação têm influência significativa para o crescimento dos tubos. É possível obter nanotubos puros de C de parede única com etanol entre 800 e 1050°C. Aumentando a porcentagem de acetonitrilo na fonte a janela de temperatura na que os SWNTs se formam fica menor e se observa sempre uma morfologia múltipla. Tanto nanotubos tipo bambu, quando MWNTs defeituosos com um caroço vazio e nanotubos de parede única coexistem contribuído com várias porcentagens de acordo com as temperaturas de síntese e a composição da fonte. É essencial fazer uma cuidadosa consideração dos valores termodinâmicos das fontes que forem empregadas para a síntese de nanotubos dopados com N, especialmente no momento de trabalhar em condições de CVD em alto vácuo. Os mecanismos responsáveis para a formação de nanotubos estão fortemente relacionados às características independentes das fontes utilizadas para a síntese e a pressão de vapor que elas apresentam independentemente. Quando se utilizam misturas de etanol e acetonitrilo, a porcentagem de diluição mantém a proporção com a formação de SWNTs e MWNTs com a reatividade característica das fontes puras.

Quando se utiliza benzilamina pura, a produção otimizada de tubos dopados e que têm uma distribuição de diâmetros bem definida, foi observada em uma janela de temperatura de 830 – 870° C e é fortemente dependente

da pressão base do sistema. O N se incorpora nos nanotubos em diferentes formas de acordo com a temperatura na que acontece a auto pirólise da  $C_7H_9N$ , convertido à temperatura no parâmetro mais importante na formação dos diferentes ambientes químicos nas amostras. Na ausência de compostos com N na forma gasosa, se têm configurações  $sp^2$  e piridínica atingindo o máximo valor absoluto de 0.2 at%. Estas configurações competem entre elas com uma taxa constante de 1:1 no caso mais ótimo. A configuração piridínica se mantém a altas temperaturas.

Adicionalmente, foram feitos nanotubos finos dopados com N com níveis de dopagem definidos utilizando substratos multicamada como catalisadores. Também, foi observado a redução deste substrato joga um papel muito importante na quantidade de nanotubos produzida e na sua estrutura. A temperatura de síntese e a temperatura de redução dos catalisadores em  $H_2$  são decisivas. Na janela de temperatura ideal, a morfologia predominante consiste em SW, DW e MW de poucas paredes com compartimentos de comprimentos entre 20 e 40nm ao longo do eixo do tubo.

Foi também corroborado que os CNx-MWNTs podem encontrar aplicações com o reforços em compostos de matriz metálica. Porém, esta é uma das muitas possibilidades que estes materiais nanoestruturados oferecem e certamente encontraram um lugar em um grande número de aplicações.

De tudo isto, fica claro que modificar os nanotubos com funcionalização das paredes e/ou dopagem, representa uma maneira muito promissória de controlar as suas propriedades. Dopar os nanotubos com heteroátomos diferentes de uma maneira controlada é complicada pelo fato de existirem diferentes configurações que dependem fortemente da nível de dopagem e a fonte empregada.

A substituição com heteroátomos pode ser empregada para conseguir dopagem tipo n- ou p-. As última pode ser conseguida com a utilização do boro, que é o objetivo do trabalho que pesquisa atualmente. Isto está relacionado com a síntese de nanotubos dopados feitos com fontes líquidas de C/B \*(*Triisopropyl Borate* e *Triethyl Borate*). Isto vai permitir estender as possibilidades de obter amostras nas que seja possível julgar o caráter ambipolar de tubos individuais combinando por exemplo o crescimento de nanotubos com fases dopadas com B e com N utilizando diferentes fontes.