

Iniciação Científica IF 590
RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES

Nanofios semicondutores: análise por microscopia de força atômica II



Aluno: Douglas Soares de Oliveira RA: 060224

Orientadora: Profa. Mônica Alonso Cotta

Prof. Responsável: José Joaquim Lunazzi

**IFGW/UNICAMP
JUNHO/2009**

Resumo

Neste projeto, utilizamos uma variação de uma rotina[1] para a análise morfológica de nanofios semicondutores através de imagens de microscopia de Força Atômica (AFM) descrita no relatório referente a disciplina F690. Com tal metodologia analisamos nanofios de InP crescidos sobre GaAs com temperatura de crescimento de 420° C e 480° C e encontramos indícios que mostram ser possível diferenciar a orientação cristalográfica (wurtzita e blenda de zinco) dos nanofios através de imagens AFM dos mesmos.

1. Introdução

Diferentes técnicas de crescimento de nanofios semicondutores vem sendo empregadas com bastante sucesso. O método de crescimento baseia-se no modelo Vapor-Solid-Liquid (VLS) [2], onde uma partícula metálica é utilizada como catalisadora do crescimento. Embora o progresso nas técnicas de síntese de nanofios seja evidente, ainda existem pontos em aberto no entendimento do crescimento destes materiais, por isto a caracterização estrutural e óptica dos nanofios torna-se fundamental para o avanço do seu estudo. Para uma avaliação da tendência da evolução dos dispositivos nanoeletrônicos, vários aspectos devem ser considerados, independente do material em que se baseiam. A.Asenov e seu grupo [3][4][5] têm trabalhado em simulações mostrando o efeito de flutuações intrínsecas em parâmetros relacionados à síntese e processamento dos materiais e dispositivos em suas características elétricas.

Para correlacionar as propriedades elétricas com as propriedades estruturais dos nanofios faz-se necessário uma caracterização da topografia dos nanofios. Para tanto, os nanofios auto-sustentados foram transferidos mecanicamente para outro substrato de Si ou GaAs e o mapeamento do seu diâmetro em função do comprimento do nanofio foi realizado. Apresentamos neste trabalho a análise dos dados obtidos.

2. Imagens AFM

As imagens topográficas dos nanofios utilizadas neste projeto foram adquiridas com o microscópio de força atômica AutoProbe CP (Veeco) do laboratório SPM (LPD/IFGW/UNICAMP) em ar, operando no modo não contato (NC-AFM).

3. Rotina para análise das imagens AFM

Como descrito em [1], com a rotina obtemos retas ao longo dos nanofios.

Consideramos as laterais do nanofio contido em uma imagem como segmentos de reta, a partir deles definimos a equação da reta bissetriz a esses segmentos. Queremos obter dados sobre o nanofio, o qual está entre os segmentos de retas; para tanto variamos o coeficiente angular da reta bissetriz para que obtenhamos outras retas. Apenas para termos a referência da superfície da amostra escolhemos também 2 retas fora do nanofio, uma de cada lado de sua lateral. Essas outras retas foram criadas com variação de múltiplos 5,5% do diâmetro do nanofio, utilizando a reta bissetriz como referência. Portanto, obtemos 21 retas bem definidas com informações sobre a topografia do nanofio.

A partir dos dados advindos das retas, queremos identificar a orientação cristalográfica do nanofio. A informação de cada reta se resume a altura do nanofio em função de uma distância a uma determinada origem (ao longo do comprimento do fio). Utilizamos a informação de altura para obtermos o gradiente entre as retas para cada distância determinada; temos assim vários gradientes correspondentes a diferentes secções do nanofio. Para obtermos um valor mais confiável para o conjunto de gradientes, fazemos a média dos valores entre as secções.

4. Dados obtidos e análise

Através de medidas realizadas com microscopia eletrônica de transmissão (TEM) e difração de raios-X foi identificada a orientação cristalográfica dos nanofios crescidos (CBE do IFGW/UNICAMP) a 420°C como sendo predominantemente hexagonal (estrutura wurtzita com eixo [0001] ao longo do eixo c) e crescidos a 480°C como sendo de forma predominantemente cúbica (estrutura blenda de zinco, com eixo

de crescimento alinhado na direção [111]). Isto define as facetas presentes no nanofio, porém a análise por TEM é mais complicada na geometria de *cross sections* dos nanofios. Mesmo assim, identificamos pelas poucas análises realizadas que a área das facetas não é uniforme ao longo do fio. Tentamos com nossas medidas AFM, mais simples de realizar, identificar estas características. Com isso, teríamos a possibilidade de saber a estrutura dos nanofios que passarem por medidas elétricas simultâneas com as de topografia no AFM. Por este motivo, medimos amostras crescidas a 420°C e 480°C, pois sabemos que os nanofios possuem orientação cristalográfica diferente.

Primeiramente realizamos medidas ao longo de um mesmo nanofio para observar se existe um padrão entre os gráficos do gradiente do nanofio. Esta análise é necessária, pois, se não houver similaridade entre os gráficos de um mesmo nanofio, não poderíamos estabelecer um procedimento para análise dos gráficos para diferentes nanofios. Na Figura 1 pode ser visto o gráfico ao longo de um nanofio crescido a 420°C e na Figura 2 ao longo de um nanofio crescido a 480°C.

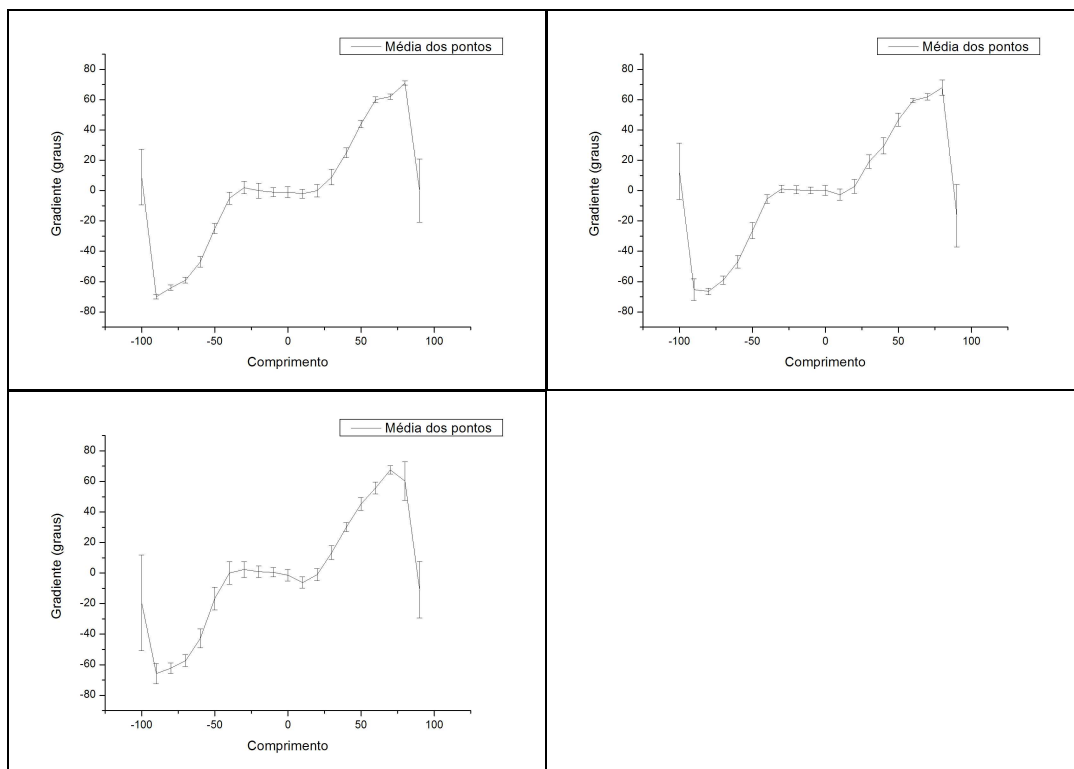


Figura 1 – Gráfico do gradiente de diferentes partes de um mesmo nanofio crescido a 420° C. Onde “comprimento” no eixo das abcissas é encontrado segundo a equação
$$200 \cdot \frac{(\text{Distância ao centro})}{(1,1 \cdot \text{Diâmetro do nanofio})}$$

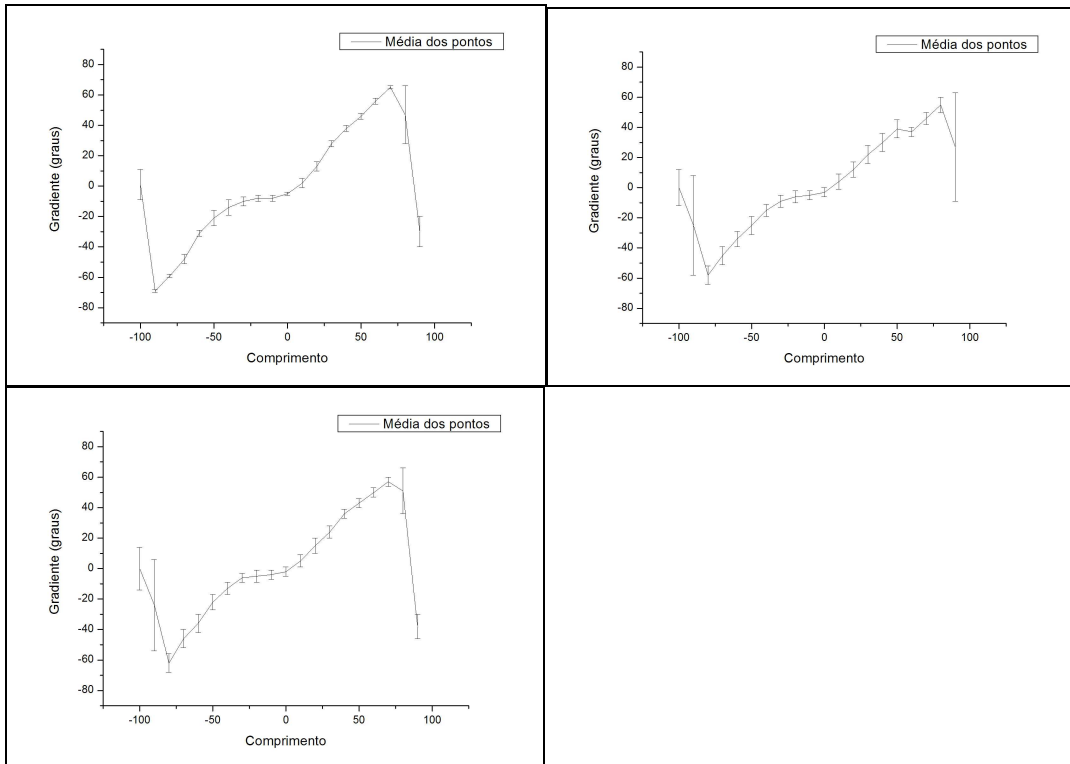
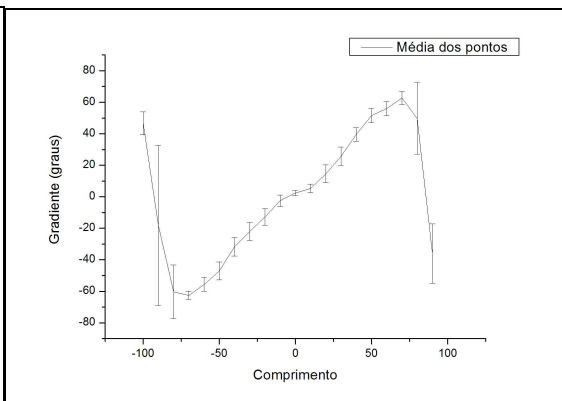
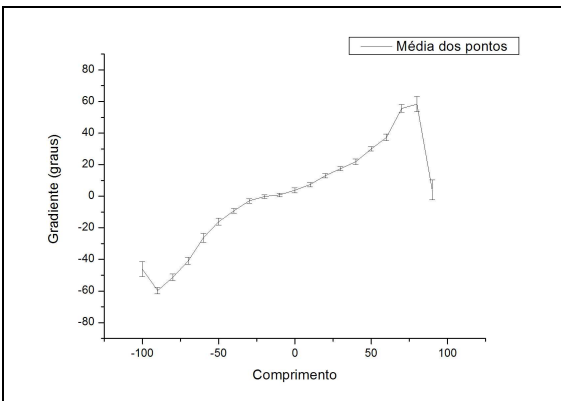
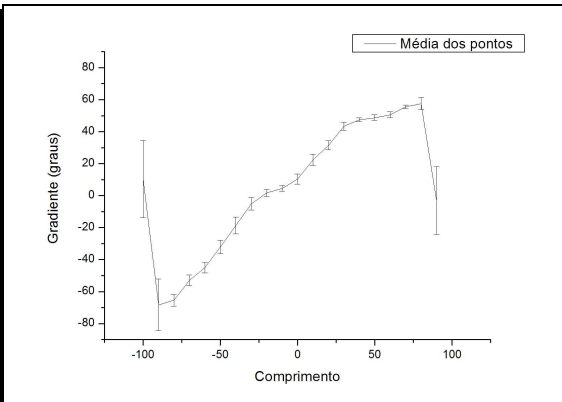
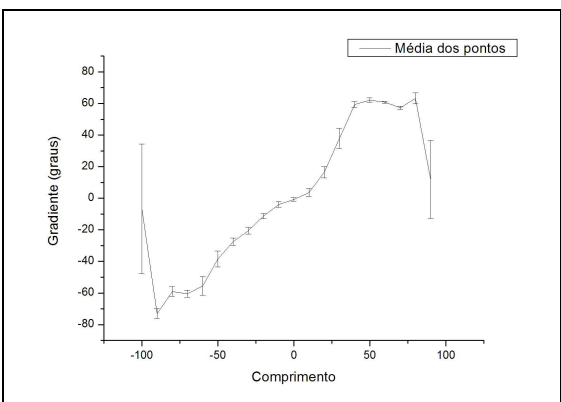
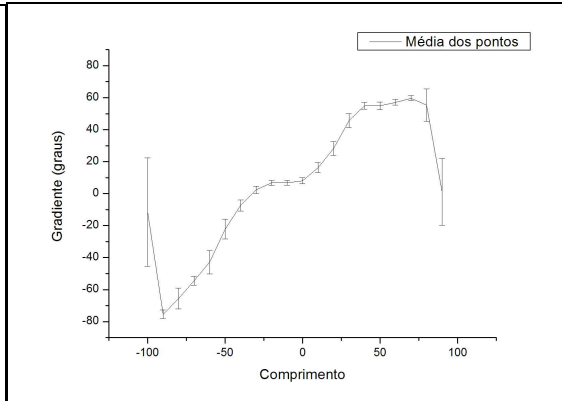
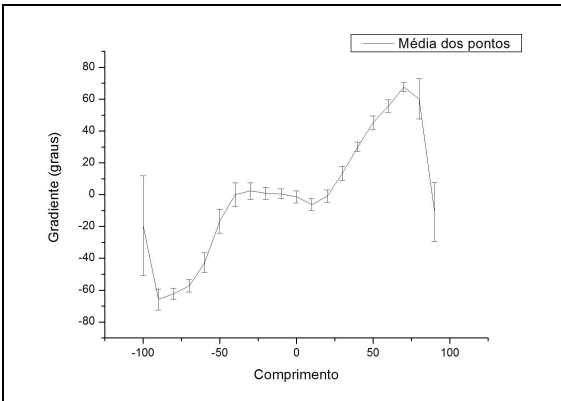
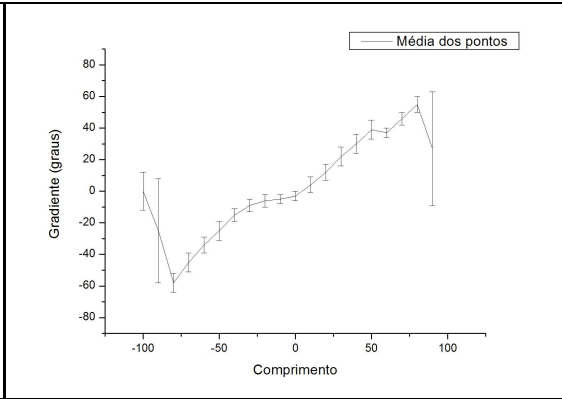
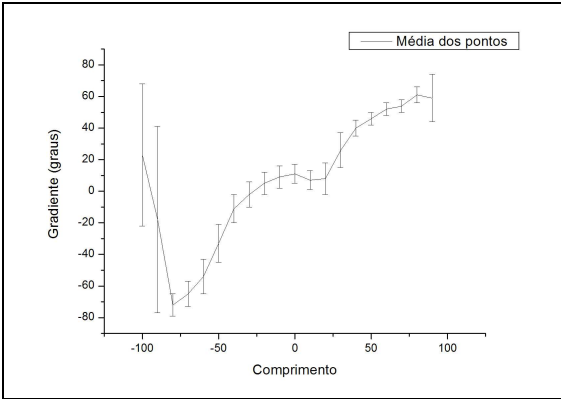


Figura 2 – Gráfico do gradiente de diferentes partes de um mesmo nanofio crescido a 480° C. Onde “comprimento” no eixo das abcissas é encontrado segundo a equação $200 \cdot \frac{(\text{Distância ao centro})}{(1,1 \cdot \text{Diâmetro do nanofio})}$.

Das três curvas em cada uma das figuras acima, é possível ver que existe uma semelhança entre os gráficos obtidos a partir de um mesmo nanofio. Com isso passamos para a fase seguinte do processo, tentar identificar padrões semelhantes entre diferentes nanofios crescidos a uma mesma temperatura e notar as diferenças entre o padrão de nanofios crescidos a diferentes temperaturas.

Este processo é um tanto quanto trabalhoso, pois é necessário obter excelentes imagens de diferentes nanofios para se ter uma estatística razoável. Na Figura 3 encontram-se o gráfico de nanofios diferentes para comparação.



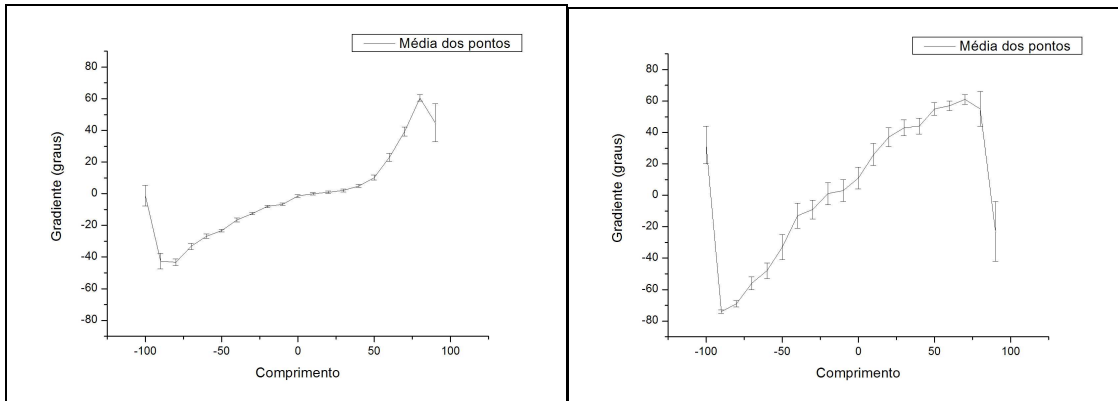


Figura 3 – (esquerda) gráficos de nanofios diferentes crescidos a 420° C; (direita) gráficos de nanofios diferentes crescidos a 480° C. Onde "comprimento" no eixo das abcissas é encontrado segundo a equação $200 \cdot \frac{(\text{Distância ao centro})}{(1,1 \cdot \text{Diâmetro do nanofio})}$.

Com as imagens obtidas, mostradas na Figura 3, tentamos identificar os padrões entre as amostras crescidas a 420°C e 480°C. Apesar de terem estrutura cristalográfica diferentes, o eixo do nanofio pode estar orientado em diferentes direções, conforme a análise realizada no grupo por difração de raio X. As direções mencionadas acima correspondem ao maior grupo de nanofios, porém não são necessariamente as únicas.

Identificamos um padrão mantido em grande parte das amostras crescidas a 420°C que não se repetem nas amostras crescidas a 480°C. Analisaremos esse padrão no gráfico da Figura 4, escolhida arbitrariamente.

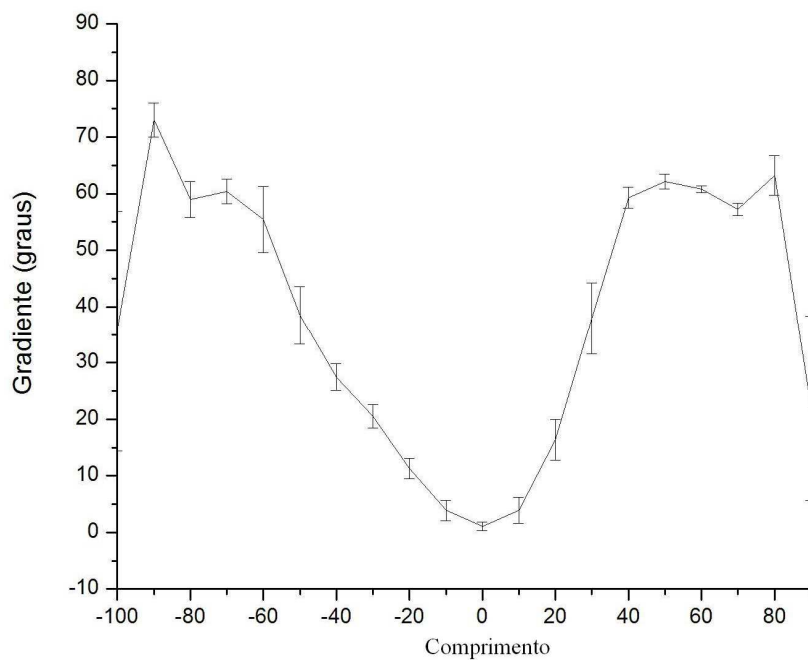


Figura 4 – Gráfico do módulo do gradiente das alturas para uma amostra crescida a 420° C. Onde “comprimento” no eixo das abcissas é encontrado segundo a equação $200 \cdot \frac{(\text{Distância ao centro})}{(1,1 \cdot \text{Diâmetro do nanofio})}$.

Analisando o gráfico da Figura 4, é possível notar que o gráfico se mantém razoavelmente constante em 60 graus tanto perto de -80 de comprimento e +60 de comprimento, porém para a parte positiva uma parte maior do gradiente se mantém em 60 graus. Analisando a imagem da qual o gráfico deriva podemos ver que esse efeito é devido aos parâmetros utilizados ao se obter a imagem. Analisando mais imagens pode-se ver ainda que, na metade final do diâmetro do nanofio, a ponta do AFM “sente” maiores distorções que a metade inicial; portanto consideraremos apenas a região do gráfico entre -100 e 0 (para esta imagem em particular; em algumas imagens a metade inicial do nanofio está descrita entre 0 e 90 do gráfico do gradiente). Analisando mais profundamente a região entre -90 e -60, podemos interpretar os 60° como parte do hexágono sendo identificada pela ponta do AFM; mais próximo a borda do nanofio (-90) observamos um acréscimo no gradiente, que pode ser interpretado como a convolução da ponta sobre a parte reta na lateral do hexágono. Para a maior parte dos gráficos obtidos para a amostra crescida a 420°C foi possível notar o estabelecimento de um patamar em torno dos 60°, tal patamar não é encontrado nos gráficos das amostras crescidas a 480°C, como por exemplo no gráfico da Figura 5, o que condiz com os resultados esperados.

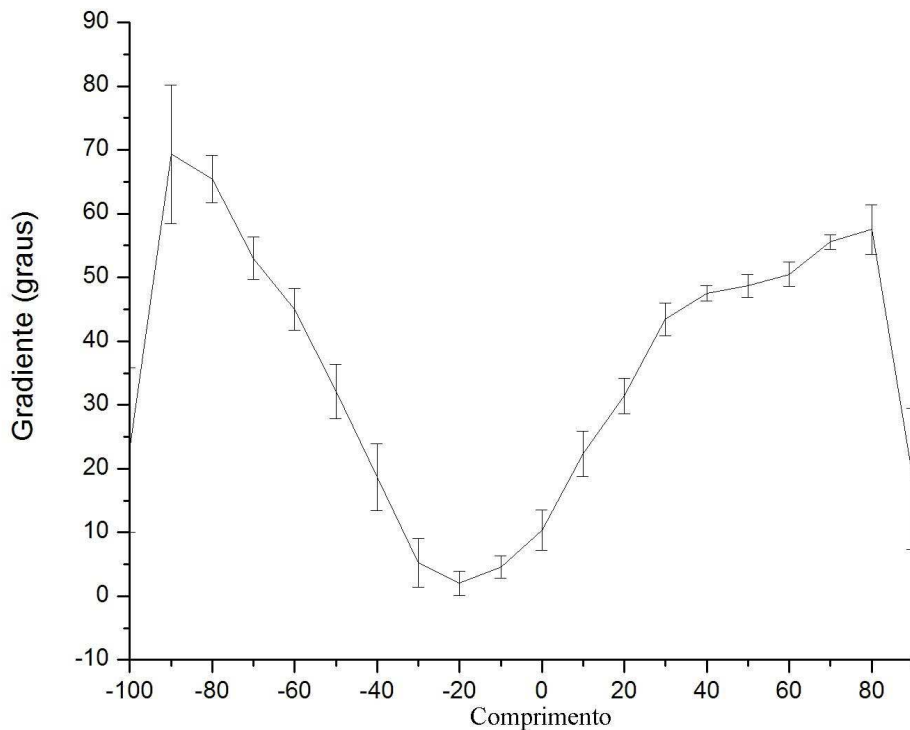


Figura 5 – Gráfico do módulo do gradiente das alturas para uma amostra crescida a 480° C. Onde “comprimento” no eixo das abscissas é encontrado segundo a equação $200 \cdot \frac{(\text{Distância ao centro})}{(1,1 \cdot \text{Diâmetro do nanofio})}$.

No gráfico da Figura 5, é possível observar novamente o patamar (entre 30 e 80) criado devido aos parâmetros do AFM ao se obter a imagem. Portanto devemos considerar apenas a região entre -100 e 0; nela podemos ver que o patamar em torno dos 60° não existe, gerando uma variação contínua de gradiente, podendo ser interpretada como a seção lateral de uma forma quadrada

5. Conclusões

Pudemos observar que um padrão do gráfico do gradiente se mantém ao longo de um mesmo nanofio, indicando ser possível relacionar a estrutura do nanofio com o seu gráfico.

O tempo de trabalho e recursos despendidos para realizar o procedimento para um nanofio são menores se comparado com as técnicas disponíveis para descobrir a orientação cristalográfica do nanofio, tornando o procedimento atraente.

Identificamos uma diferença de padrão entre as amostras crescidas a 420 °C e as crescidas a 480 °C, porém ainda é necessário comparar uma gama maior de imagens para se obter um resultado definitivo.

6. Parecer do Orientador

Douglas continua se mostrando um aluno dedicado, com iniciativa e que procura entender os detalhes de tudo que vem realizando. Seus resultados são muito bons; apesar de usar uma pequena estatística de imagens, pode distinguir as facetas dos diferentes nanofios através do procedimento desenvolvido em seu trabalho. Considero seu desempenho excelente.

7. Referências

- [1]D. S. Oliveira, projeto de F690 Iniciação Científica II, IFGW/UNICAMP, 2008
- [2]R. S. Wagner, Whisker Technology, editado por A. P. Levitt (Wiley, New York, 1970), pp. 47–119
- [3]A. Martinez, J. R. Barker, A. Svizhenko, M. P. Anantram, A. Asenov, IEEE Transactions on Nanotechnology 6, 438 (2007)
- [4]G. Roy, A. R. Brown, F. Adamu-Lema, S. Roy, A. Asenov, IEEE Transactions on Electron Devices 53, 3063 (2006)
- [5]A.Asenov, keynote presentation at 2007 Trends in Nanotechnology (TNT2007), San Sebastian, Spain, 03-07/09/2007