

# DETERMINANDO A ESPESSURA DE UM TRAÇO DE LÁPIS: DO GRAFITE AO GRAFENO

Rafael P. Vilela ([rafael.vilela@fca.unicamp.br](mailto:rafael.vilela@fca.unicamp.br)), Ana L. C. Pereira ([ana.pereira@fca.unicamp.br](mailto:ana.pereira@fca.unicamp.br))  
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Agência financiadora: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Palavras-chave: Grafeno – Grafite – Lei de Ohm – Resistência elétrica

## INTRODUÇÃO

O propósito geral desse trabalho foi determinar a espessura de um traço de grafite em uma folha de papel. Obtido pela primeira vez em 2004 [1], o grafeno é um sistema eletrônico genuinamente bidimensional, que consiste de uma única camada de átomos de carbono ligados numa rede hexagonal, ou seja, um único plano atômico de grafite, como mostra a Figura 1. Desencadeou uma avalanche de descobertas científicas [2,3], revelando propriedades completamente novas, não-convencionais [2,3], que têm atraído grande atenção para este material.

## METODOLOGIA

Foi possível através de medidas da resistência elétrica do traço de grafite, determinar a espessura do grafite depositado sobre o papel [4]. Para isso, é preciso relacionar a resistência elétrica com a espessura do condutor. O caminho óbvio é relacionar como o volume do condutor afeta a resistência. Sabe-se que a resistência  $R$  de um condutor está relacionada com o comprimento  $c$  do condutor e com a sua seção reta  $A$  através das equações:

$$R = \frac{\rho \cdot c}{A} \rightarrow R = \frac{\rho \cdot c}{e \cdot l} \therefore e = \frac{\rho \cdot c}{l \cdot R}$$

onde  $\rho$  é a resistividade do material.

Considerando que a área da seção reta  $A$  pode ser escrita como o produto da espessura  $e$  pela largura  $l$  do traço do lápis no papel,  $A = e \cdot l$ , pode-se encontrar a espessura se conseguirmos definir  $l$ ,  $c$ ,  $R$  e  $\rho$ .

### RESISTIVIDADE ELÉTRICA – $\rho$

Para determinar o valor de  $\rho$  para os grafites dos lápis, foram preparados corpos de provas dos dois tipos de grafites conforme se vê na figura 2, e foram medidos a resistência, o comprimento e o diâmetro do grafite.



Figura 2 – Fotos dos lápis utilizados, sem pontas, para permitir a determinação da resistividade através de medidas de resistência.

## RESULTADOS

Os dois métodos para determinar a espessura do traço de lápis adotados foram:

1. Através da 2ª Lei de Ohm, utilizando o gráfico 1, de resistência elétrica ( $R$ ) em função do comprimento do traço ( $c$ ). A espessura é definida a partir do coeficiente angular, pois em um gráfico  $R \times c$  o coef. angular é igual a  $\rho / e \cdot l$  (ver equação acima);
2. A partir de um equipamento de se medir perfis, chamado perfilômetro.

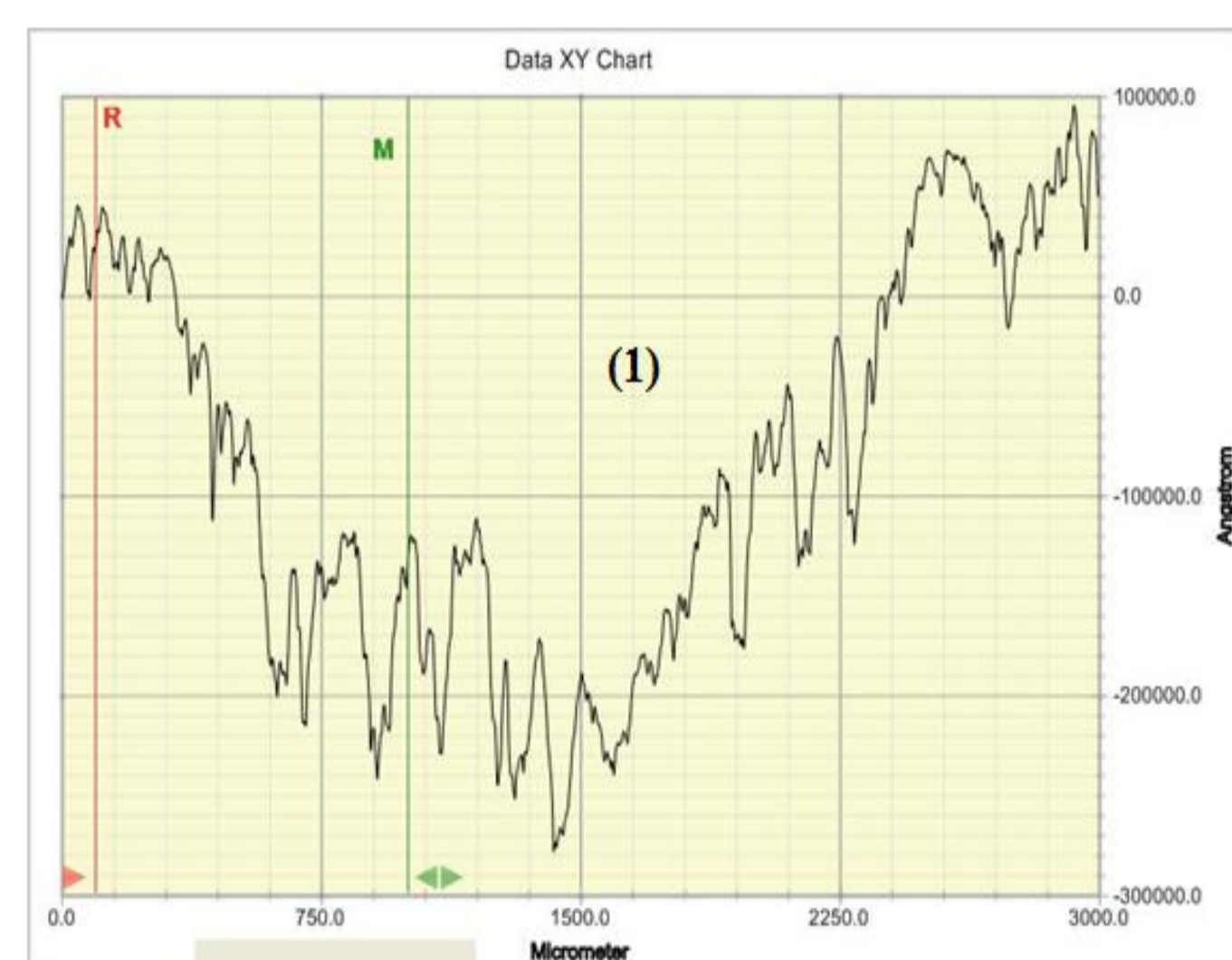


Figura 5: Perfil medido no perfilômetro ao longo de um traço de lápis tipo HB feito no papel. Pode-se ver que a rugosidade do papel é da ordem do ruído observado no gráfico à esquerda. Além disso, verifica-se que, na realidade, o traço causa um afundamento no papel na região traçada, dificultando a medição a partir dessa técnica.

## CONCLUSÕES

- Determinou-se com cuidado o comprimento e a largura dos traços de lápis e a resistividade do grafite  $e$ , a partir de medidas de resistência elétrica do traço, com um multímetro, conseguimos determinar a espessura dos traços, usando as 1ª e 2ª leis de Ohm;
- Concluímos que a resistividade dos grafites são diferentes, pois há diferença na porcentagem de argila. A resistividade é fundamental para calcular a espessura do traço, pela lei de Ohm;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. S. Novoselov et al., Science **306**, 666 (2004)  
[2] A. K. Geim and K. S. Novoselov, Nature Materials, **6**, 183 (2007)  
[3] A. H. Castro Neto, A. K. Geim et. al, Rev. Mod. Phys. **81**, 109 (2009)

- [4] Alice Newcombe, "The thickness of a pencil line". Disponível em: <http://www.pencilpages.com/articles/thickness.doc>  
[5] A. L. C. Pereira, "Splitting of critical energies in the  $n=0$  Landau level of graphene", New Journal of Physics **11**, 095019 (2009)

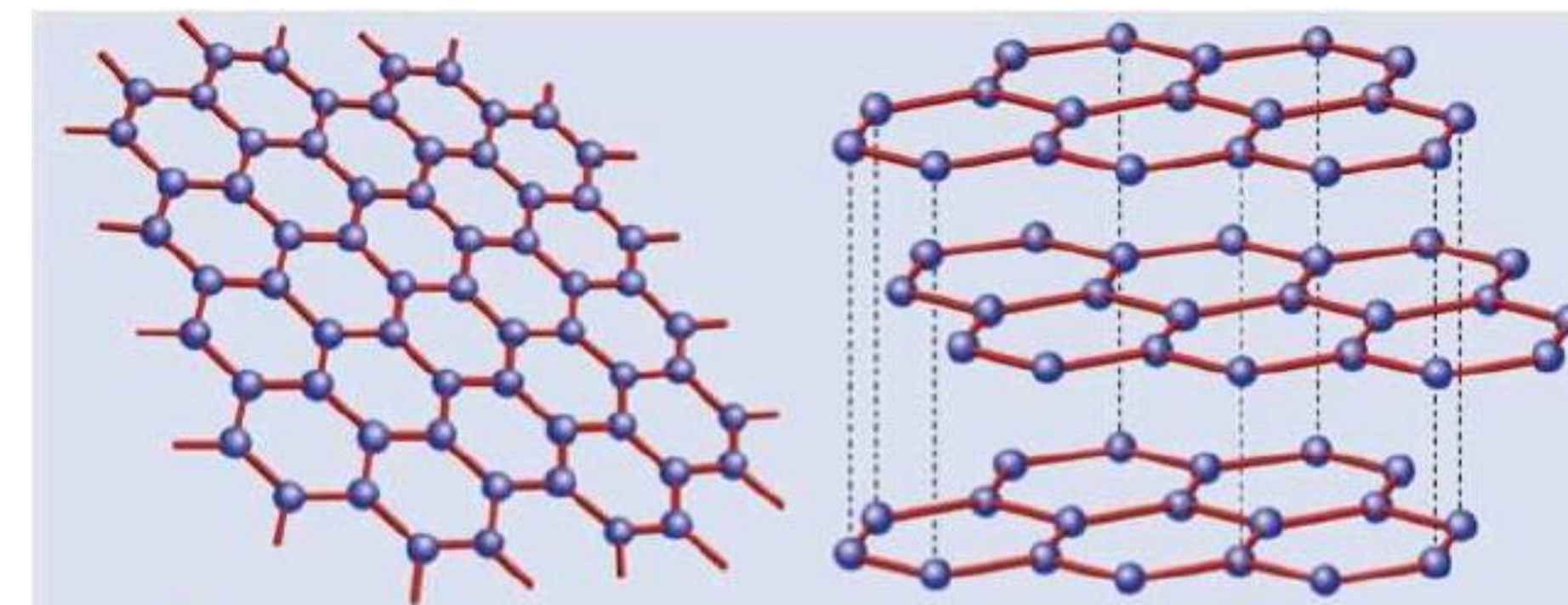


Figura 1: (à esquerda) Esquema mostrando uma folha (monocamada) de grafeno, com seus átomos de carbono ligados numa rede hexagonal. (à direita) O empilhamento de folhas de grafeno origina o bem conhecido grafite.

### COMPRIIMENTO DO TRAÇO – $C$

O comprimento do traço foi medido utilizando uma régua, a qual também foi usada para guiar o traço, ao traçar com o lápis, para garantir um traço mais linear, como mostra a figura 3 a seguir.

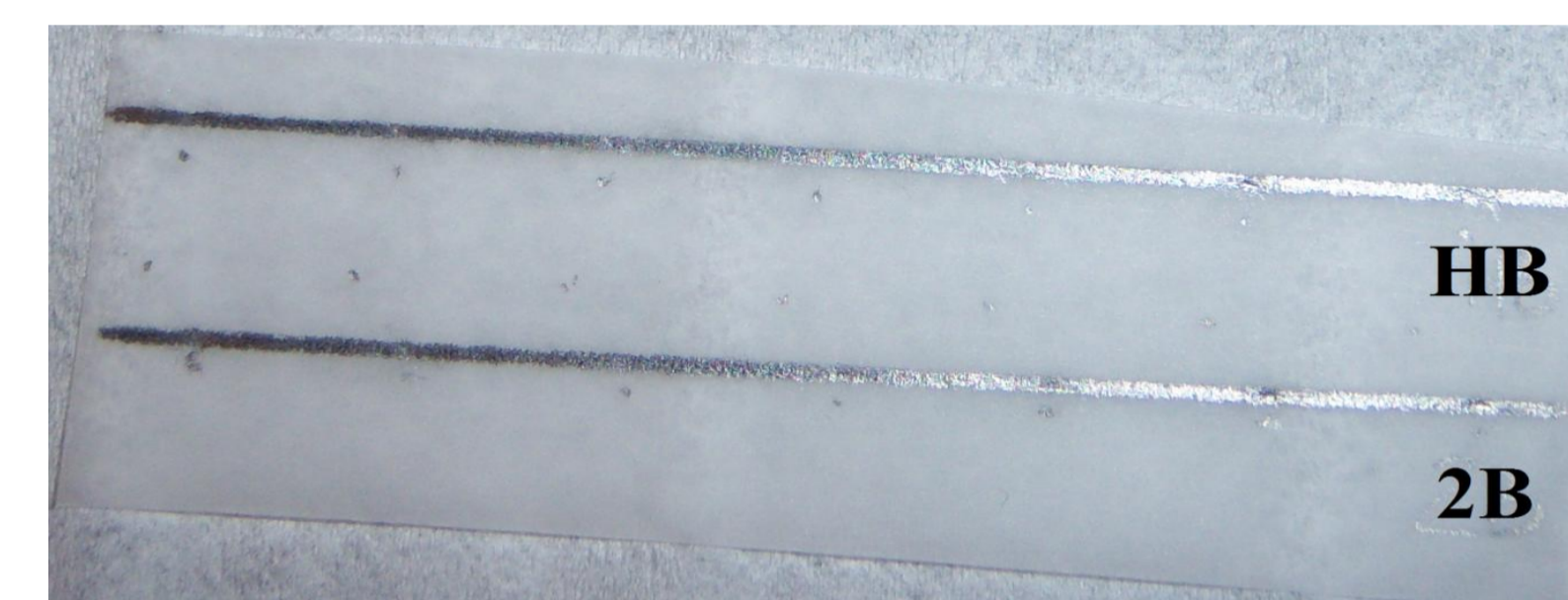


Figura 3 – Traços de grafite no papel, feitos com os dois tipos de lápis sobre papel vegetal.

### LARGURA DO TRAÇO – $L$

Verificamos que a largura do traço de grafite varia ao longo do comprimento do traço. No presente estudo utilizou-se o microscópio para medir a largura do traço e avaliar as suas variações ao longo do comprimento (Figura 4).

Figura 4 – Medida de largura dos traços de lápis, observada em um microscópio óptico com uma lente de aumento de 4 vezes. (1) Traço com lápis 2B. (2) Traço com HB.

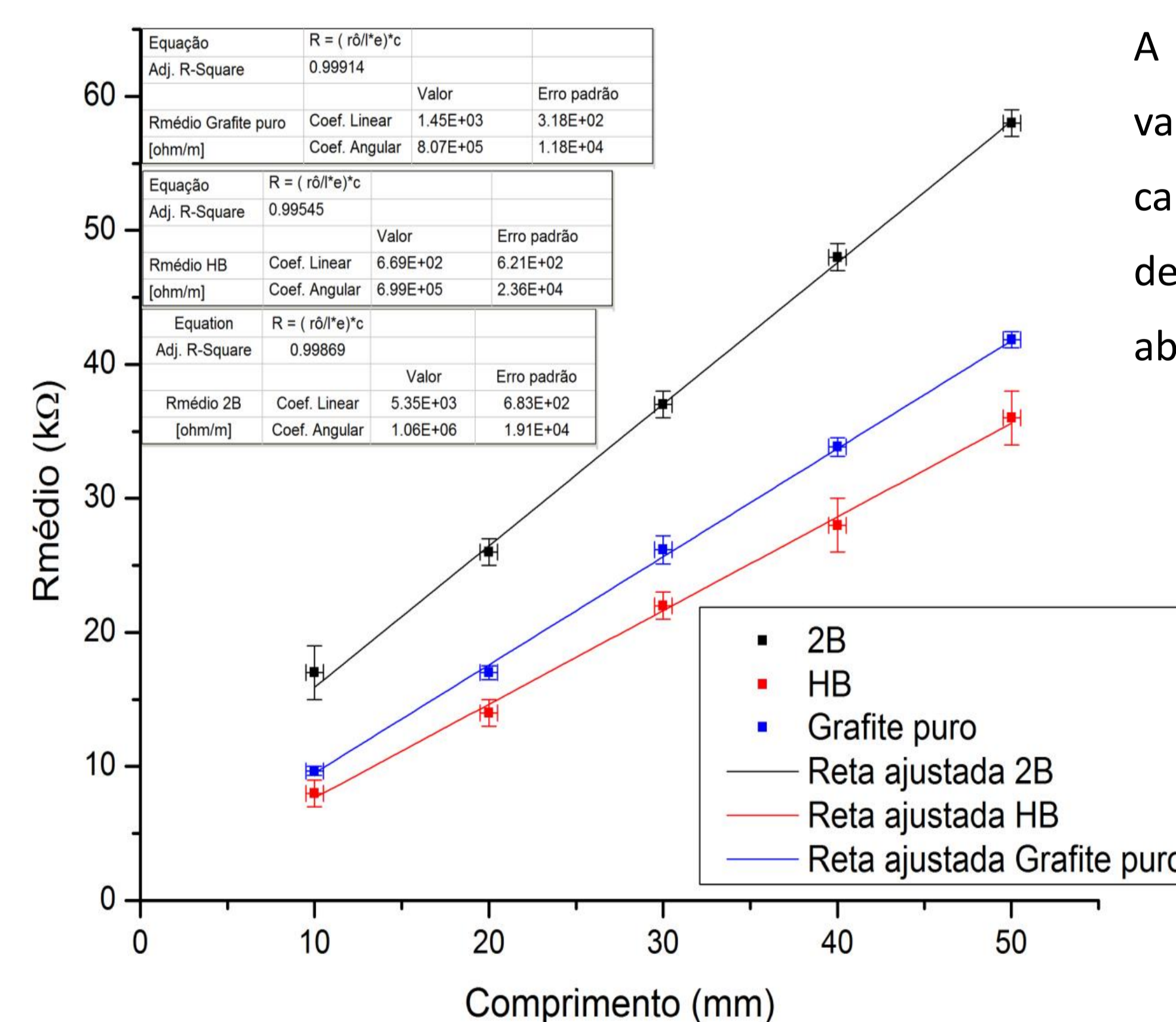
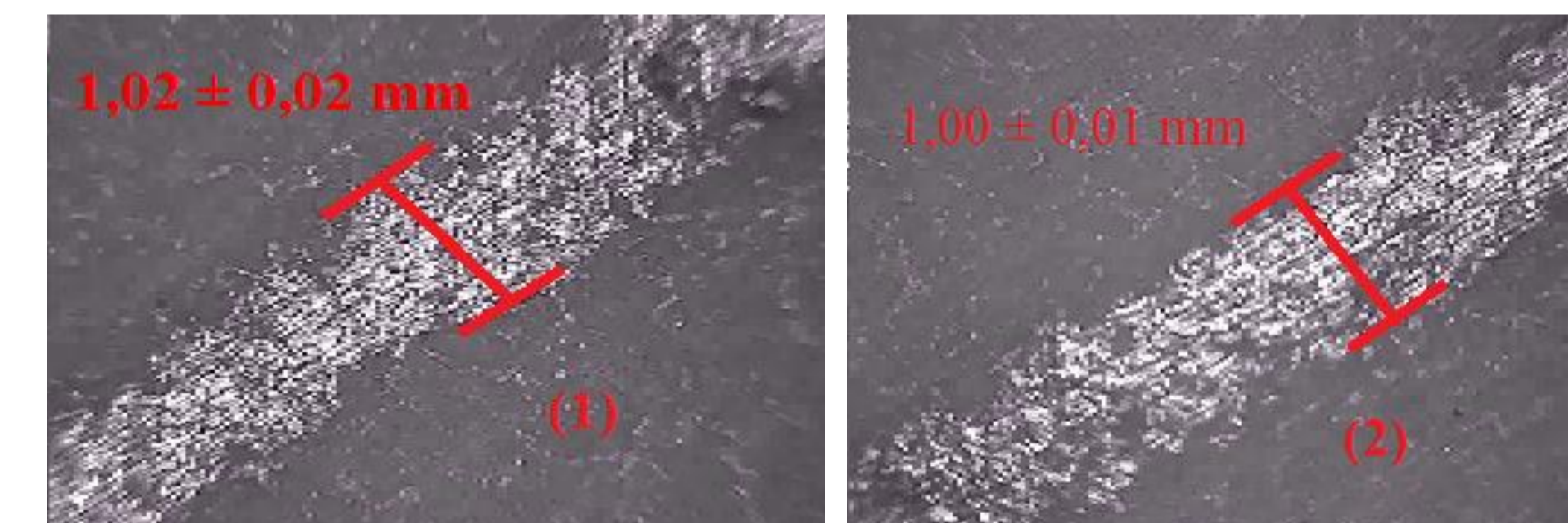


Gráfico 1 – Gráfico de resistência por comprimento do traço.

A partir do gráfico 1 e das equações descritas obtiveram-se os valores de espessura (tabela 1) e também a quantidade de camadas de grafeno, sabendo-se que a distância entre camadas de grafeno no grafite é de 3,35 Å [3] (tabela 2), conforme abaixo:

Lápis	e Espessura	Δe Erro na Espessura
2B	0,42 μm	0,09 μm
HB	0,56 μm	0,12 μm
Grafite puro	20,4 nm	9,1 nm

Tabela 1

Lápis	Camadas de grafeno	
	Unidade	Erro
2B	1250	270
HB	1670	360
Grafite puro	60	27

Tabela 2