

# Análise computacional de micrografias de nanoestruturas

Luís Ricardo Ferreira, Luciana Reyes Kassab

Mestrado Profissional Centro Educacional Paula Souza - São Paulo

[ricoferreira@gmail.com](mailto:ricoferreira@gmail.com), [kassablm@osite.com.br](mailto:kassablm@osite.com.br)

## Resumo

A análise computacional tem se mostrado uma importante ferramenta no auxílio a procedimentos de pesquisa sobretudo para a análise de imagens de microscopia. A proposta desse trabalho é descrever a elaboração e implementação de uma metodologia para auxílio na análise de imagens digitalizadas de nanoestruturas, particularmente em meio vítreo. A inserção de nanoestruturas em vidros tem por objetivo um aumento da luminescência e uma melhora de características ópticas não lineares. O tratamento automatizado dos dados obtidos, por meio de microscopia eletrônica, pode colaborar muito para a otimização do processo de caracterização desses materiais.

**Palavras-chave:** análise computacional, análise de imagens, reconhecimento de padrões, micrografia, nanoestruturas.

## Introdução

No estágio inicial do desenvolvimento da Teoria Quântica, Louis de Broglie sugeriu que, assim como as ondas tinham propriedades de partículas, todas as partículas elementares dotadas de momento teriam propriedades ondulatórias e o comprimento de onda associado seria dado pela razão entre a constante de Planck e o momento da partícula. Essa suposição foi confirmada pouco tempo depois de proposta e é hoje base para o emprego de elétrons na geração de imagens em boa parte dos mais potentes microscópios modernos [2].

Em um microscópio óptico detecta-se o desvio das ondas de luz devido a sua interação com objetos microscópicos. Objetos com tamanho menor que o comprimento de onda da luz não produzem desvios observáveis. Para esses casos é preciso usar ondas que tenham comprimento menor que as de fontes luminosas.

Os microscópios eletrônicos usam feixes de elétrons para a produção de imagens, pois o comprimento de onda associado aos elétrons é bem menor que o da luz. Com isso, esses microscópios puderam romper a barreira apresentada pela microscopia óptica e gerar imagens em escala nanométrica [4].

Um dos tipos de microscopia eletrônica é realizado com microscópio eletrônico de transmissão (MET). O princípio de funcionamento de um MET consiste em expor amostras finas de um determinado material de interesse a feixes de elétrons para que passem através das camadas de átomos do material e sensibilizem um filme fotográfico [3].

A análise de dados provenientes desse tipo de microscópio é relativamente complexa e trabalhosa. A utilização de sistemas computacionais específicos contribui muito para a otimização dessa tarefa [1].

É interesse do presente trabalho apresentar um modo - através de análise computacional - de caracterizar nanoestruturas em materiais vítreos a partir de dados provenientes de imagens digitalizadas de micrografias geradas por microscópios eletrônicos de transmissão.

Em particular, o estudo é voltado às necessidades do Laboratório de Vidros e Datação da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (Fatec-SP): caracterização de estruturas nanométricas em amostras vítreas. Estes vidros formados a partir de composições inéditas, produzidas nesse Laboratório, têm sido estudados para aplicações em dispositivos nanofotônicos.

## **Objetivos**

O principal objetivo do trabalho é apresentar uma ferramenta computacional para facilitar a análise de nanoestruturas em micrografias.

São objetos desse estudo a análise por computador dos dados obtidos pelo Laboratório de Microscopia Eletrônica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) que avaliam as nanoestruturas das amostras vítreas,

produzidas pelo Laboratório de Vidros da Fatec-SP, determinando tamanho, morfologia e composição química.

A Prof<sup>a</sup> Luciana Reyes Kassab, responsável pela área de vidros do Laboratório de Vidros e Datação da Fatec, define as tarefas principais do laboratório como sendo a produção de amostras vítreas de óxidos de metais pesados dopados com íons de terras raras, visando aplicações com fibras ópticas e guias de onda. Mais recentemente o laboratório passou a desenvolver metodologias para produção de nanoestruturas metálicas nessas amostras vítreas.

Essas nanoestruturas são empregadas com o objetivo de aumentar a luminescência dos íons de terras raras e as propriedades ópticas não lineares do material. A técnica de microscopia eletrônica de transmissão desempenha um papel importante para a caracterização desses materiais, porque permite determinar o tamanho e a morfologia das nanoestruturas, bem como suas composições químicas. Essas medidas têm sido feitas em colaboração com o IFUSP, mas apresentam restrições.

Esse projeto tem por finalidade definir e desenvolver uma metodologia para otimizar, por meios computacionais, a análise realizada atualmente nas micrografias geradas pelo microscópio de transmissão eletrônica. O produto desse estudo é um programa de computador (*software*) para aplicação dessa metodologia às imagens relativas às amostras produzidas pelo Laboratório de Vidros e Datação da Fatec-SP.

O programa deverá permitir a análise da composição química e determinação da morfologia de nanoestruturas, a medição de distâncias e ângulos de difração, a distribuição de tamanhos das nanoestruturas, e também deverá aceitar a inclusão de parâmetros para adequação da análise a determinados materiais.

## **Revisão bibliográfica**

Há na literatura estudos sobre análise digital de imagens aplicada às mais variadas áreas, como por exemplo à odontologia [6], e também textos referentes à microscopia [4] e à nanotecnologia [2] que estão sendo usados como base para o desenvolvimento desse projeto.

Mais especificamente, existem trabalhos relacionados à análise digital de imagens aplicada à microscopia (*digital analysis of lattice images* - DALI). Esses trabalhos servem como referência para a implementação da metodologia proposta. Dentre eles, devido à semelhança com o tipo de análise proposta, destaca-se uma publicação que trata da interpretação de fotomicrografias de argilominerais [1].

## **Metodologia**

A metodologia empregada pode ser dividida em duas partes: a extração dos dados da micrografia e a análise desses dados para apresentação de um resultado. Estão previstas adaptações experimentais dos parâmetros aplicados à metodologia a fim de obter melhores resultados na análise das imagens.

Para a primeira fase do projeto foi definida uma interface para que um operador possa extrair manualmente os dados de micrografias através da indicação, com o uso de um dispositivo apontador (*mouse*), dos pontos relevantes da imagem, bem como dos parâmetros específicos para o processamento da análise.

Para a segunda fase, determinou-se a elaboração da parte do programa responsável pela análise automática de micrografias: tratamento e reconhecimento de padrões de imagens digitalizadas e obtenção dos pontos relevantes.

Com a obtenção desses dados ficam definidas as medidas de interesse para a análise da imagem: distâncias e ângulos formados pelos eixos que unem os pontos central e periféricos, para o caso da análise para caracterização das

nanoestruturas, e o diâmetro aproximado das formas das nanoestruturas, para o caso da análise de distribuição de tamanhos [7].

O *software* proposto está sendo desenvolvido em C#, uma linguagem de orientação a objetos desenvolvida pela *Microsoft* baseada na plataforma *.Net*.

Faz parte do programa uma interface para acesso e tratamento de imagens digitalizadas e outra interface para a configuração de parâmetros específicos relacionados com o tipo de análise e com o material analisado.

A interface de configuração contém campos para a parametrização do programa, tais como: modo de operação para seleção dos pontos relevantes para análise (manual ou automático), tolerância de tons de cinza para o reconhecimento dos pontos no modo automático, tipo de análise (de distribuição de tamanhos ou de determinação de morfologia e composição química), escala de medida da imagem, escolha do material e morfologia esperados como resultado da análise.

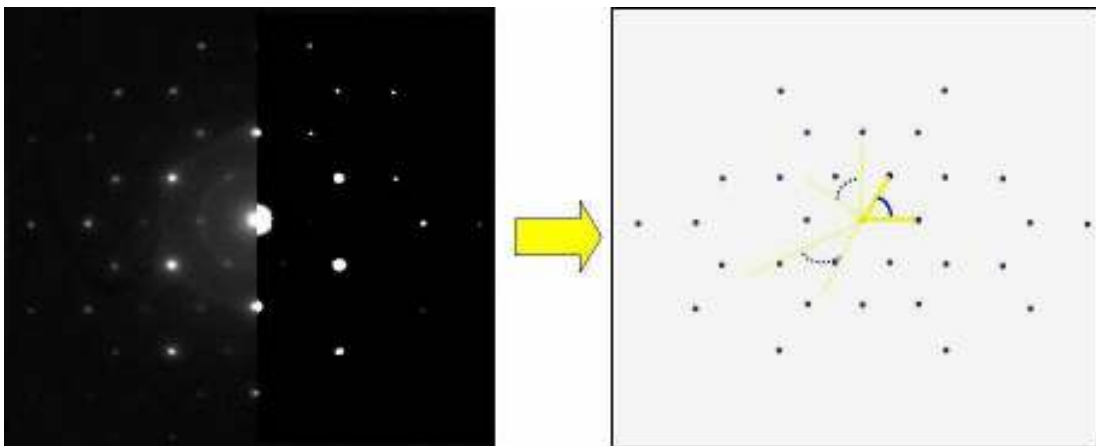
A interface de acesso serve para apresentação da micrografia no vídeo e para indicação das posições da imagem relevantes para a análise. Dependendo da configuração, a seleção dos pontos pode ser manual, em que um dispositivo como um *mouse* é usado para apontar as posições, ou automática, em que um algoritmo se encarregará de descobrir os pontos relevantes através do reconhecimento de padrões de imagem característicos dos tipos de marcas impressas pelo feixe de elétrons sobre o filme (ainda em desenvolvimento). Após a obtenção dos dados, um *script* (arquivo texto com código também em C# que é interpretado dinamicamente pelo programa) é executado para efetuar a análise dos dados e subseqüentemente, retornar os resultados que são apresentados na interface para o operador.

## **Referencial teórico**

Para o tratamento automático das imagens serão usadas técnicas de aplicação de filtros para o processamento linear discreto em duas dimensões:

aumento de nitidez e contraste, determinação de regiões limites e contornos, remoção de distúrbios [8].

Só depois de efetuado o processamento da imagem será possível reconhecer os pontos de interesse, de acordo com o tipo de análise selecionada na configuração (figura 1). Para o reconhecimento de padrões na imagem serão aplicadas técnicas de fotometria e métrica de cores [5]. Para a interpretação dessas medidas, serão usados os conceitos de análise de imagens de microscopia. Serão feitas experiências de alteração dos parâmetros para adequação da análise às imagens de nanoestruturas em vidro com o objetivo de refinar os resultados.



**Figura 1 - Ilustração do processamento da imagem de uma fotomicrografia**

### **Estágio atual do trabalho e resultados obtidos**

Foi concluída a primeira fase do projeto, que compreendia a implementação de uma interface para a seleção de pontos relevantes de micrografias digitalizadas de nanoestruturas e também o processamento dos dados obtidos. Essa interface disponibiliza diversos recursos para visualização e seleção dos pontos, tais como uma ferramentas para alteração do tamanho da imagem (*zoom*) e para alteração de parâmetros como a espessura e cor da linha usada para indicar as seleções feitas pelo usuário (figura 2).

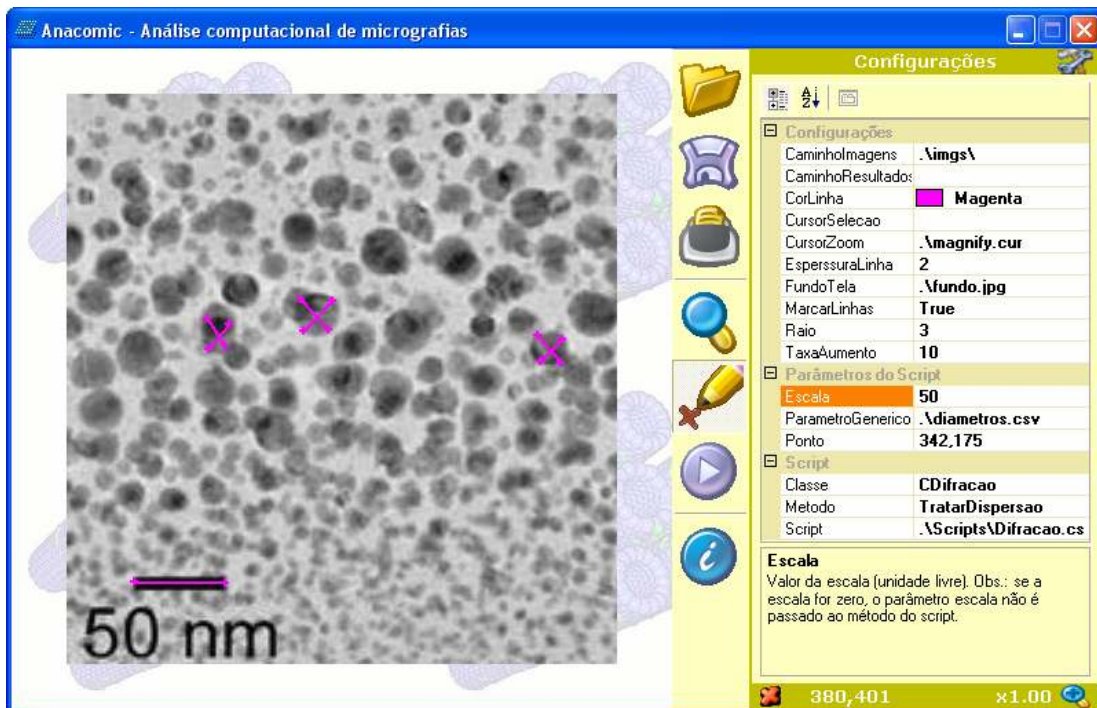


Figura 2 - Interface de acesso e configuração

O processamento dos pontos selecionados é feito por *scripts* que expõem métodos (rotinas de um programa) que recebem os dados informados pelo operador. A interpretação e transformação dinâmica do código do *script* em código compilado é obtido com o uso de um novo conceito computacional chamado *reflection* [9].

Esse modelo de desenvolvimento foi definido para conferir mais flexibilidade ao programa. Assim, os métodos de cálculo mais complexos e específicos podem ser facilmente avaliados, ou até mesmo desenvolvidos e alterados pelos usuários do programa, uma vez que os módulos matemáticos da linguagem C# ficam disponíveis para a implementação do *script*.

A atual versão do *software* proposto já permite uma redução acentuada do tempo de análise em comparação com a análise sem o auxílio do computador. O emprego do programa proporciona por vezes uma economia de tempo superior a 90%, além de tornar mais fácil e precisa a tarefa de obtenção e processamento dos dados extraídos das fotomicrografias digitalizadas.

## **Discussão e conclusões**

O emprego de técnicas computacionais representa um ganho significativo em performance com a redução atual do tempo de coleta e tratamento dos dados obtidos das micrografias. A automatização do processo diminui também a possibilidade de ocorrência de erros de aferimento, melhora de forma considerável a precisão das medidas e permite o armazenamento digital das análises efetuadas e dos resultados obtidos.

A versão automática do programa deve contribuir ainda mais para o ganho em performance e precisão na análise das micrografias.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Centro Paula Souza pela oportunidade de realizar essa pesquisa e agradecem também às equipes do Laboratório de Vidros e Datação da Fatec São Paulo e do Laboratório de Microscopia do Instituto de Física da USP pela colaboração e pelo apoio que vêm dando para o desenvolvimento desse trabalho.

## **Referências bibliográficas**

- [1] BARONI, M. P. M. A.; et al. Aplicação de programa de análise de imagens na interpretação de fotomicrografias de alta resolução de argilominerais. **Cerâmica**, São Paulo, v. 52, p. 179-184, 2006.
- [2] CLARKE, Ashley R.; EBERHARDT, Colin N. **Microscopy techniques for materials science**. 1<sup>st</sup> ed. Abington: Woodhead Publishing, 2002. 406 p.
- [3] DURÁN, Nelson, et al. **Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Ed. ArtLiber, 2006. 207 p.



- [4] GALETTI, Silvia Regina. Introdução à microscopia eletrônica. **Biológico**, São Paulo, v. 65, p. 33-35, 2003.
- [5] GONZALES, C. Rafael; WOODS, Richard E. **Digital image processing**. 2<sup>nd</sup> ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 779 p.
- [6] KERBAUY, Warley David. **Processamento digital de imagens de radiografias periapicais sub-expostas aos raios x**. 1995. 93 f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual Paulista - UNESP, São José dos Campos, 1995.
- [7] MISSEL, D. L., et al. **Practical methods in electron microscopy**. 1<sup>st</sup> ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1987. 287 p.
- [8] PRATT, William K. **Digital image processing**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2001. 723 p.
- [9] ROBINSON, Simon, et al. **Professional C#**. 3<sup>rd</sup> ed. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc, 2004. 1224 p.