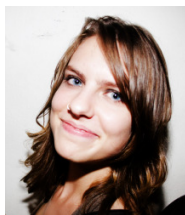




**INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**



Nome: Natasha Tomm

RA: 103648

Contato: natashatomm X(arroba)X gmail.com

Orientador: Prof. Dr. Carlos Manuel Giles Antúnez de Mayolo

Contato: carlosgiles X(arroba)X gmail.com

**Relatório Final do Projeto de Iniciação Científica
“Tomografia de Fósseis e amostras paleontológicas usando Contraste de Fase”**

Este relatório relata o aprendizado adquirido três meses do início do projeto, e o trabalho desenvolvido até o momento.

O objetivo deste projeto de iniciação científica é o aprendizado de técnicas de radiografia por contraste de fase e o desenvolvimento de tomografias de amostras paleontológicas usando esta técnica.

No Laboratório de Cristalografia Aplicada e Raios X existe uma estação de tomografia que está na fase final de implementação e que deverá ser usada para este projeto. A particularidade desta estação de tomografia está no uso de uma fonte microfoco de raios X que nos obriga a usar algoritmos de feixe cônico, e no uso do contraste de fase ao invés do contraste por absorção que é o mais usado na área medica.

Este projeto é inovador no Brasil pois não existe nenhuma estação tomográfica com estas características e pretendemos utilizá-la no estudo de amostras paleontológicas em colaboração com professores do Instituto de Geociências da UNICAMP.

Introdução

Os raios X interagem com a matéria de forma que a interação pode ser descrita pelo seu índice de refração complexo:

$$n = 1 - \delta - i\beta$$

onde a parte imaginária (onde $\beta = \mu\lambda/4\pi$) representa a absorção dos raios X⁽¹⁾ e a parte real (onde $\delta = \lambda^2 r_e n_e / 2\pi$) descreve a refração⁽²⁾ sofrida pela onda ao passar pelo meio.

O termo que representa a absorção (β) é em geral muito pequena, da ordem de até 10^{-9} , o que justifica o fato de que os raios X atravessam facilmente os materiais. Já o termo que representa a refração é da ordem de 10^{-6} , o que garante que para comprimentos de onda tão pequenos como os de raios X a refração prevalece sobre a absorção. [1]

Para podermos usar técnicas radiográficas ou tomográficas por contraste de fase é essencial dispor de fontes de raios X coerentes (que não existem normalmente) ou fontes com um determinado grau de coerência parcial, obtidos com fontes de raios X microfoco.

O principio do método de imagens por contraste de fase reside no fato de que porções coerentes do feixe de raios X refratados pela amostra produzirão um padrão de interferência

¹ μ é o coeficiente de absorção do meio; λ é o comprimento de onda.

² $r_e = 2,818 \cdot 10^{-15}$ é o raio do elétron; n_e é a densidade eletrônica do meio.

construtiva ou destrutiva gerando o contraste da imagem. Desta forma pequenas variações do caminho ótico da onda podem ser detectadas usando o contraste de fase.

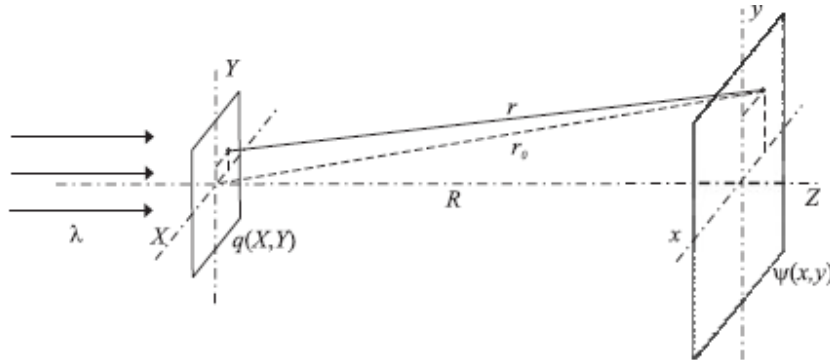


Figura 1: Esquema representativo, onde raios X chegam na amostra $q(X,Y)$, e tem seus raios difratados, gerando uma diferença de caminho ótico, que será propagado até o detector $\Psi(x,y)$. Distâncias e ângulos não estão em escala. [1]

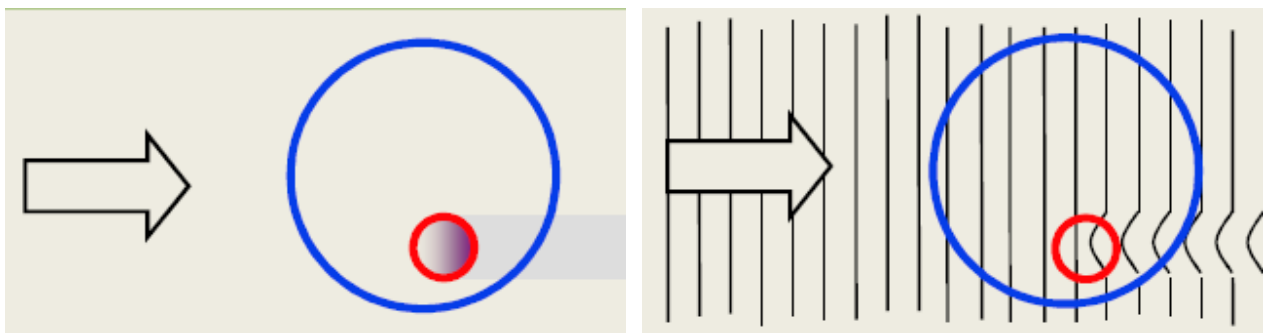


Figura 2: Esquema representativo de feixe de Raios X sendo atenuados por absorção (imagem da esquerda) e o padrão de interferência gerado por contraste de fase em decorrência dos diferentes coeficientes de refração da amostra. [4]

O que determina a qualidade das imagens obtidas por absorção ou por refração é a distância R entre a amostra e o detector. Existem três regimes [1]:

- Quase-contato (*near contact*): o detector está logo atrás da amostra, todo o contraste obtido provém da absorção. (Figura 3.(a))
- Fraunhofer: grande distância entre o detector e a amostra.
- Fresnel: distância intermediária entre *near-contact* e Fraunhofer, melhor regime para se trabalhar com contraste de fase. (Figura 3.(b))

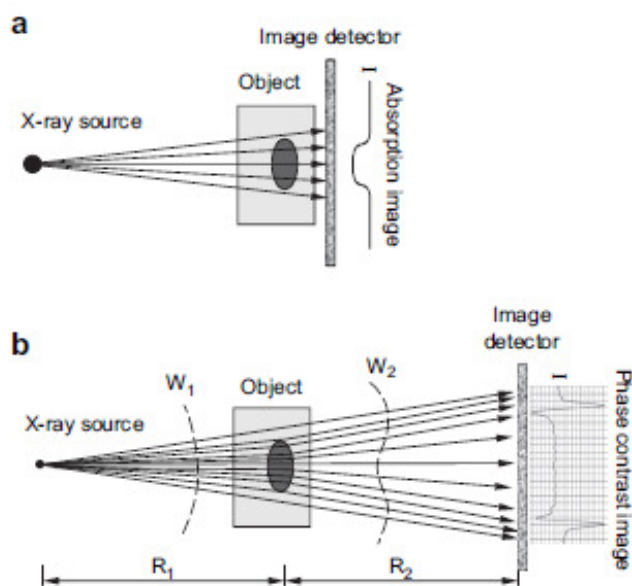


Figura 3: Esquemas de (a) uma configuração de imageamento baseada em absorção e (b) uma configuração de contraste de fase pelo método da propagação.

Método da Propagação e Contraste de Fase

Esse método utiliza o alto grau de coerência produzido pela fonte de raios X microfoco. Com esse método, os raios X transmitidos pela amostra sofrerão pequenos desvios angulares que poderão interferir a uma certa distância entre o objeto e o detector. O resultado é uma imagem que apresenta realces nas bordas de componentes que apresentam diferentes índices de refração [3].

A fonte microfoco do Laboratório de Cristalografia tem tamanho focal de $5 \mu\text{m}$ e energia de até 40 keV . A amostra e o detector são posicionados em distâncias para otimizar a obtenção do contraste de fase.

Tomografia

Tomografia refere-se à construção tridimensional a partir de projeções planares obtidas usando ondas penetrantes. O procedimento consiste em reunir projeções em diversos ângulos e utilizar algum algoritmo de reconstrução para se obter uma imagem tridimensional. O algoritmo utilizado depende de aspectos geométricos do caminho do feixe: existem reconstruções para feixe paralelo ou para feixes cônicos.

Entre os parâmetros experimentais estão a corrente e diferença de potencial da fonte microfoco de raios X e as distâncias fonte-amostra e fonte-detector. Estes devem ser escolhidos

de maneira a otimizar o regime de contraste de fase: isto é o de maximizar a coerência espacial da fonte e determinar a melhor relação entre as distâncias. Pode-se transladar manualmente a amostra e o detector no mesmo eixo da direção do feixe.

Utilizando-se motores de passo, pode-se rotacionar a amostra, e transladar o detector para os lados para melhor enquadramento da imagem.

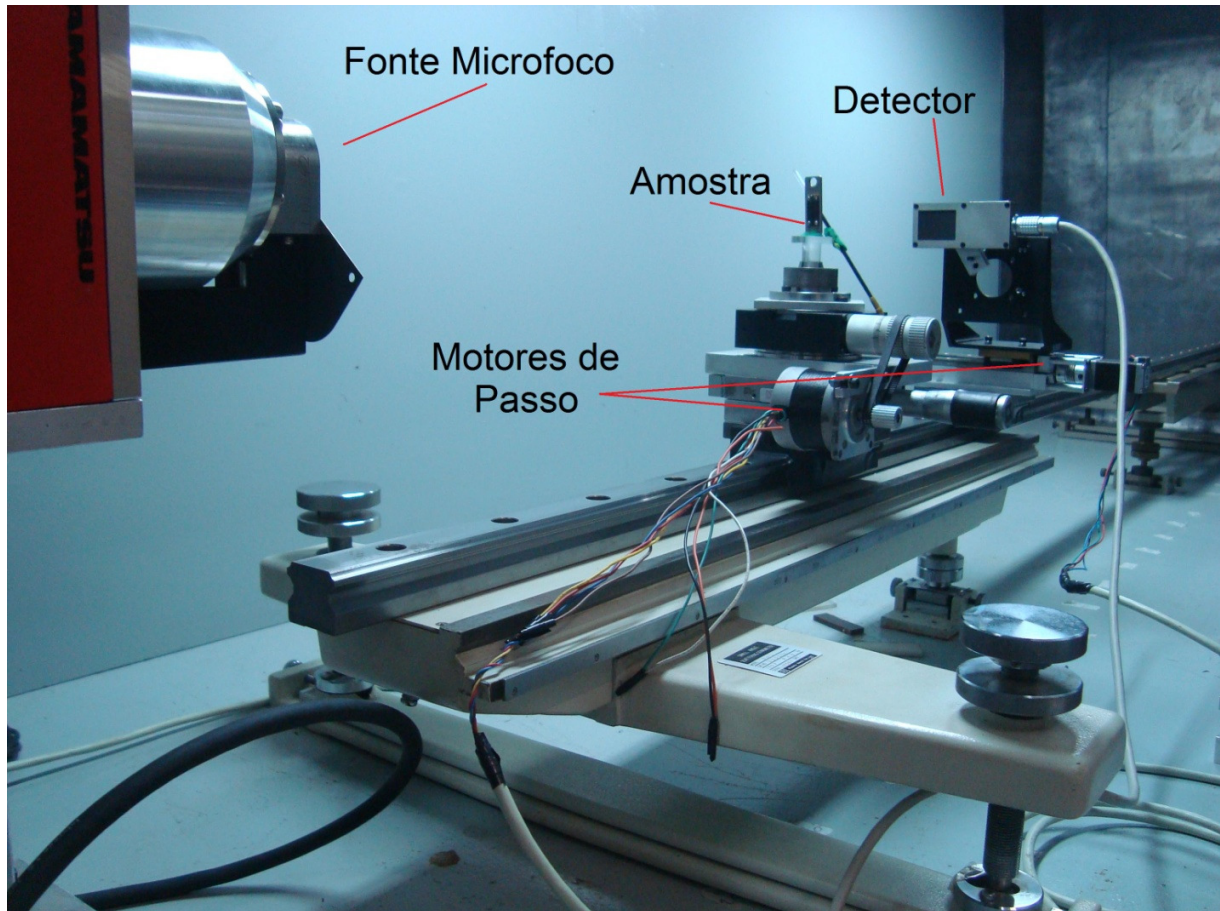


Figura 4: Instrumental – fonte de raios-x com foco de $5\mu\text{m}$, porta-amostra, detector, e motores de passo para rotacionar a amostra e transladar o detector.

Para o procedimento completo obtêm-se radiografias, rotacionando a amostra de um intervalo angular pequeno (inferior ou igual a um grau) até completar uma volta ou 360° , de forma que se obtenha o maior número de imagens planares da amostra, e então faz-se a reconstrução computacional das imagens.

Para a reconstrução das radiografias por contraste de fase em 3-D, utilizam-se programas comerciais. Entretanto um de nossos desafios é a geometria cônica do feixe, por isso membros do LCARX (o colega Rafael Vescovi) juntamente com o auxílio do Dr. Prof. Álvaro de Pierro (IMECC) e seu aluno doutorando Eduardo Xavier Miqueles, estão desenvolvendo novas rotinas de reconstrução que levem em consideração essa geometria diferenciada.

Radiografias de Amostras Paleontológicas

Em imagens obtidas usando-se distâncias de Fresnel podem-se notar a intensificação das



bordas, bem como a diferenciação inclusive da profundidade da amostra.

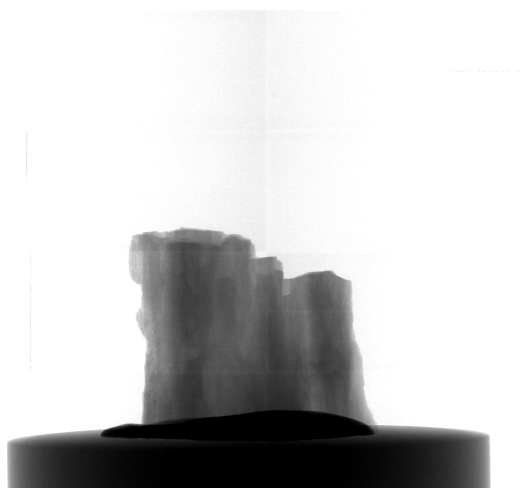


Figura 5: radiografia de uma gimnosperma encontrada em Rio Claro (SP), Fm. Iratis.

Figura 6: radiografia de Fm. Corumbatai encontrada em Bofete (SP).

Reconstrução em 3-D

Como para a reconstrução são necessárias inúmeras radiografias, e já está-se automatizando esse processo, ainda não foi iniciado o processo de reconstrução tomográfica. Porém, o esperado são resultados semelhantes a tomografias antes realizadas no LCARX utilizando-se o fêmur de um coelho.

As imagens abaixo mostram radiografias por contraste de fase, e subsequentes reconstrução tomográfica do fêmur de um coelho. É notável a qualidade da imagem e o aumento do contraste principalmente nas bordas da amostra, mas também das estruturas internas da amostra.

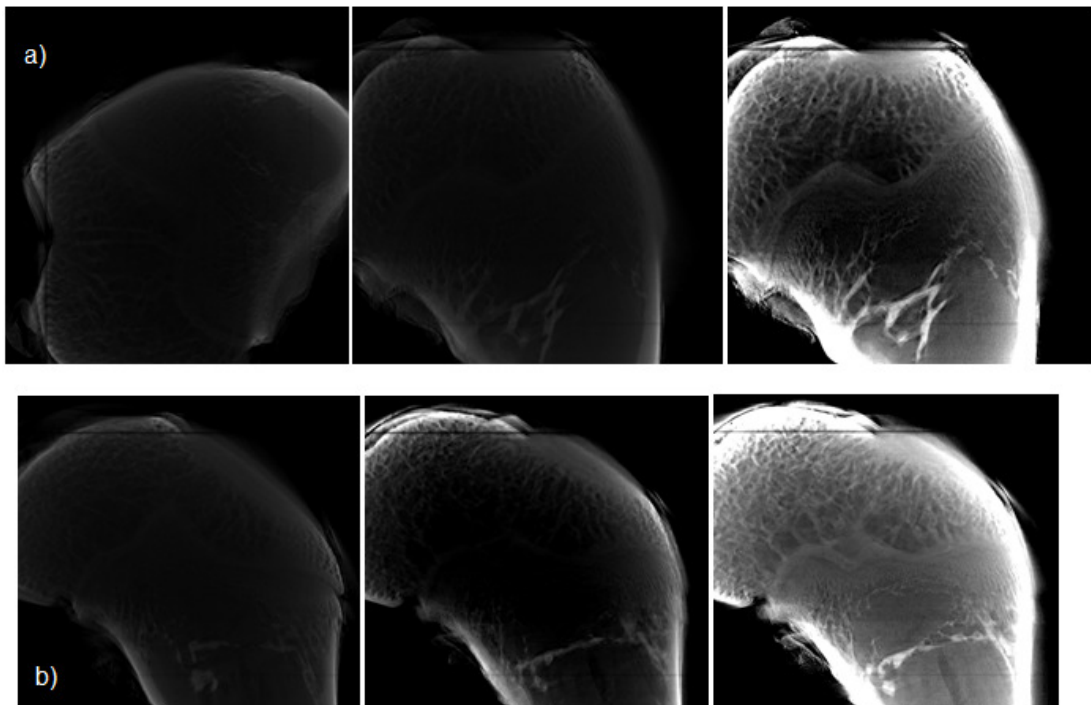


Figura 7: (a) exemplos de radiografias do eixo XZ e (b) do eixo YZ de um fêmur de coelho. (LCARX, 2010)

Automatização do Tomógrafo

Atualmente os comandos dados aos motores de passo são inseridos manualmente a cada radiografia feita, o que demanda muito tempo, e pode estar sujeito a erros por parte do usuário. Dessa forma, estamos implementando um programa de controle para aquisição de radiografias de forma automática no programa LabView.

Com o novo programa desenvolvido, pode-se simplesmente configurar a aceleração, velocidade, e distância (rotação ou translação desejadas) a ser percorrida em cada ciclo do

processo. Dessa forma, todo o processo de movimentação da amostra, detector, captação da imagem e processamento de dados sera feito de forma automática.

O programa é formado por sub-VIs (estrutura de dados e comandos do LabView) básicas com funções características:



- Set Serial VI: esta VI identifica a porta serial, e determina baud-rate, data bits, parity bits, stop bits, etc.



- Modos VI: estabelece que os motores funcionem nos modos Normal, Incremento, e sem limites laterais.



- Motor-config VI: configura a aceleração, velocidade, e número de passos por rotação do motor.



- Displacement VI: determina a distância (em passos) a ser andada pelo motor, e dá um “go”, fazendo o motor se mover.

As imagens 7, 8 e 9 mostram um pouco do trabalho desenvolvido até o presente momento.

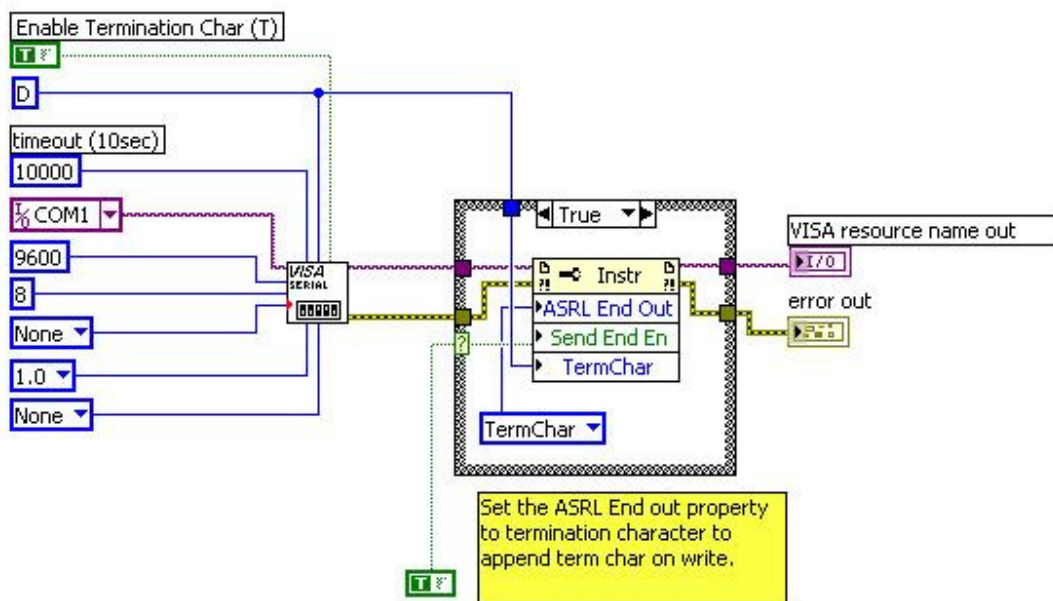


Figura 7: Set Serial VI. Esta VI identifica a porta serial, e determina baud-rate, data bits, parity bits, stop bits, etc.

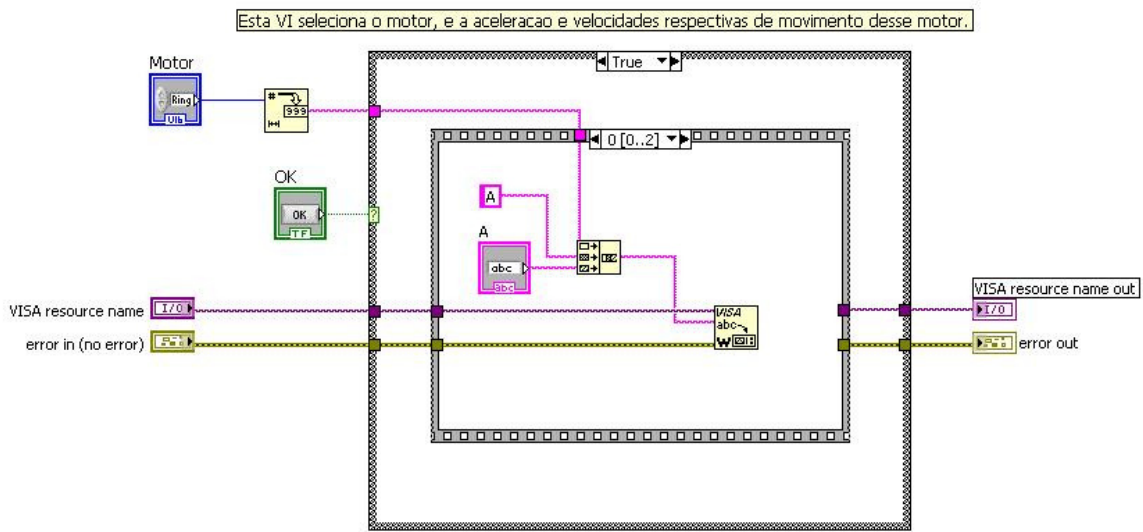


Figura 8: MotorConfig VI: Block diagram. Configura a aceleração, velocidade, e número de passos por rotação do motor.

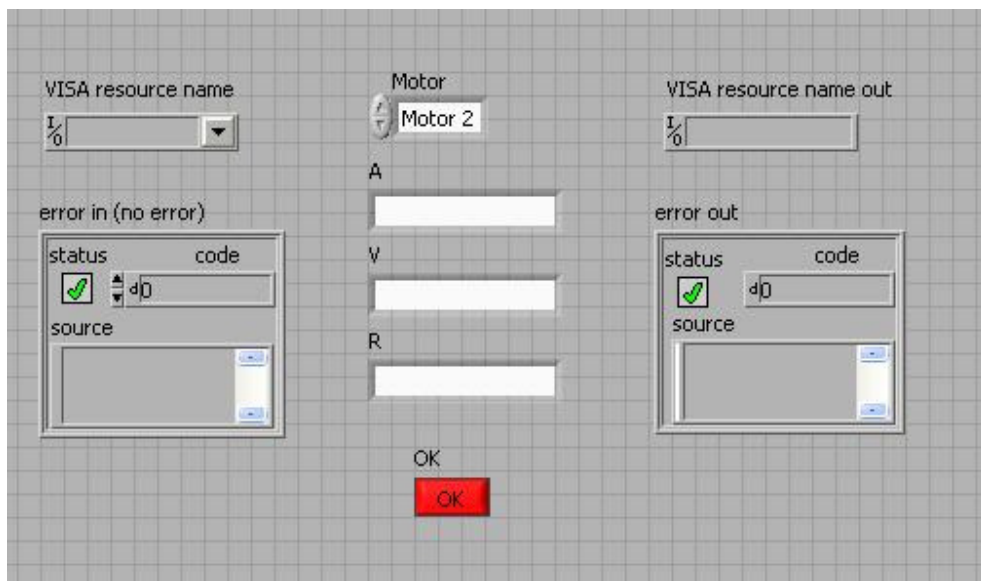


Figura 9: Motorconfig VI – front panel.

Dessa forma, pode-se usar cada sub-VI para gerar rotinas de movimento dos motores, conforme desejado.

Atualmente, está-se implementando a sub-VI em LabView que controla o detector, de forma que ele consiga receber os sinais eletromagnéticos e interpretar como uma imagem de raios X.

Conclusão e perspectivas

O projeto de iniciação científica está se desenvolvendo de acordo ao planejamento inicial. O progresso alcançado até o momento prevê que se alcançarão os objetivos dentro do prazo.

Logo que for terminada a sub-VI do detector, serão feitas as rotinas de automatização do tomógrafo. Imediatamente após, usaremos os programas de reconstrução para composição da tomografia tridimensional das amostras paleontológicas.

Espera-se que nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, conclua-se a parte de imagens por contraste de fase usando o método da propagação e inicie-se a segunda parte do projeto, que envolve DEI (Diffraction Enhanced Imaging), conforme explicitado no projeto anunciado previamente.

Agradeço ao meu orientador, Carlos Giles, pelo apoio e paciência nesses três meses de trabalho, e por todo o conhecimento compartilhado. Também agradeço aos meus colegas do LCARX por estarem sempre a minha disposição para tirar dúvidas e compartilhar experiências.

Bibliografia

- [1] – Pfeiffer, F., van der Veen, F.; Coherent x-ray scattering, *J.Phys.: Condens. Matter* 16 (2004) 5003-5030.
- [2] – Halliday, Resnick, Walter; *Fundamentos de Física*, vol. 4.
- [3] – Vescovi, R., *Estudo da Reconstrução Completa de Imagens Coerentes Obtidas com Raios X* (monografia IFGW, 2011).
- [4] – Sanchez, Sophie; Tafforeau, *The Future of Our Past* (http://espc.lnl.br/wp-content/uploads/2011/01/Sanchez-Brazil_part1.pdf and part2);

Comentário do Orientador:

“A Natasha realizou um ótimo trabalho desenvolvendo com interesse e dedicação o seu projeto de iniciação científica. Em particular ela demonstrou independência e comprometimento em realizar todas as etapas do seu projeto alcançando bons resultados.”

- Carlos Giles