AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Índices cristalográficos de Miller: uma proposta em Educação a Distância

VIVIANE GABRIEL FERREIRA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais

Orientador:
Prof. Dr. Ricardo Mendes Leal Neto

São Paulo
2015

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

Índices cristalográficos de Miller: uma proposta em Educação a Distância

VIVIANE GABRIEL FERREIRA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais

Orientador:
Prof. Dr. Ricardo Mendes Leal Neto

Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2015

*Dedico este trabalho à minha mãe **Isa Maria Garcia Correa**, pelo apoio e dedicação incansáveis sem os quais eu não teria me tornado a mulher que sou hoje.*

*Ao meu irmãozinho **Pedro José Gabriel Ferreira** que sempre me apoiou e incentivou.*

*Ao meu amado tio e padrinho, **Wilson Aparecido Garcia Correa** e minha amada tia **Estela Maria Garcia Correa,** que não puderam ver a conclusão de meu mestrado, mas estarão sempre em minhas lembranças (in memorian).*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao meu orientador **Prof. Dr. Ricardo Mendes Leal Neto**, pela confiança e paciência depositadas em mim. Pelas "broncas" merecidas que me fizeram "acordar" e chegar até aqui. Obrigada Professor!

Ao **Dr. Ubirajara Carnevale**, meu professor na graduação, que muito me honra em participar de minha banca examinadora de mestrado.

Ao **Dr. Arnaldo Homobono Paes de Andrade** por fazer parte de minha banca examinadora de mestrado.

À **Ana Cláudia Martinelli Feher**, secretária da CPG, pela paciência e informações sempre precisas.

À minha irmãzinha **Valéria Gabriel Ferreira Nezzi** pela preocupação comigo.

Aos meus sobrinhos **Cesar Gabriel Nezzi** pelo carinho e ajuda em minhas pesquisas e **Isabella Gabriel Nezzi** por me dar tantas alegrias.

Ao meu "filhinho" **Pingo** que me acompanha desde 2012 e me proporciona tantas alegrias e ao seu "priminho" **Fubá** que chegou para alegrar ainda mais nossas vidas.

Ao **Barãozinho** que me proporcionou tantas alegrias e sempre estará em minhas lembranças.

À minha tia **Maria Cristina Garcia Corrêa** por todas as vezes que me telefonou e disse para eu continuar.

À minha madrinha **Marta Lúcia P. Corrêa** pelo amor e carinho.

Ao meu tio **Carlos Alberto Garcia Corrêa** pela preocupação com meus estudos.

Ao meu tio **Luis Carlos Corrêa**, **Tio Tê**, que sempre torceu por mim.

À minha prima **Mayard Sabbag** pela paciência e apoio durantes todos esses anos, antes mesmo de meu mestrado.

À minha amiga, do ***coração,*** **Priscila Carrara** a única amiga, que sempre se preocupou, incentivou e orou por mim mesmo à distância.

Aos amigos **Iara Lima, Túlio Vivaldini e Lilian Pereira** pela ajuda durante o último ano.

Aos meus ex-alunos **Leonardo Erps** e **Luiz Gustavo Dorfman** que me incentivaram e ajudaram em meu projeto inúmeras vezes.

A todos os colegas que de alguma forma contribuíram para a execução desse trabalho.

"Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas, o mar seria menor se lhe faltasse uma gota".

Madre Teresa de Calcutá

"Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino".

Leonardo da Vinci

ÍNDICES CRISTALOGRÁFICOS DE MILLER: UMA PROPOSTA EM EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

Viviane Gabriel Ferreira

RESUMO

No estudo da estrutura cristalina dos materiais, pertinente à disciplina de Ciência dos Materiais e outras afins, há uma grande dificuldade da parte de alunos em compreender como identificar pontos, direções e planos cristalográficos, segundo o padrão de notação dos conhecidos índices de Miller. Parte desta dificuldade surge da necessidade de se visualizar algo que é **tridimensional** em apenas **duas dimensões**. Para contribuir com a diminuição de tais dificuldades foi elaborado neste trabalho um curso de Educação a Distância (EaD) assíncrono, destinado a estudantes de graduação e pós-graduação, especificamente sobre a determinação dos índices cristalográficos de Miller, onde recursos de visualização tridimensional interativa foram empregados. Apenas o sistema cúbico foi contemplado nesta versão do curso. As representações tridimensionais foram criadas com o programa *Wolfram Mathematica* 10.1. O curso foi desenvolvido em um ambiente virtual de aprendizagem gratuito (*MOODLE 2.6.4)* e hospedado em um servidor específico para este fim (MCO2). Os roteiros para determinar pontos, direções e planos cristalográficos foram elaborados com o auxílio do programa *Adobe Macromedia Flash 8.0*. Algumas ilustrações foram criadas com o programa *Solid Works*. O curso contempla a interatividade através de exercícios e do *chat* entre os participantes. Para que haja aprimoramento contínuo, há no final um questionário destinado aos estudantes, sobre a estrutura do curso e a compreensão dos conceitos teóricos disponibilizados.

CRYSTALLOGRAPHIC MILLER INDICES : A PROPOSAL IN DISTANCE EDUCATION

Viviane Gabriel Ferreira

ABSTRACT

In the study of the crystal structure of materials, pertaining to the discipline of materials science and others alike, students have been shown great difficulty on understanding how identify points, directions and plans using the standard notation with the well known Miller indices. Part of this issue arises from the need to visualize something that is three dimensional in only two dimensions. To overcome this problem a asynchronous Distance Education course was created for undergraduated and graduated students, helping them on determining crystallographic Miller indices by means of three-dimensional visualization resources. In the present version of the course only the crystal cubic system was covered. Three-dimensional representations were created using Wolfram Mathematica 10.1. The course were built in a virtual free-learning environment (MOODLE 2.6.4) and hosted in a dedicated commercial server (MCO2). For determining crystal points, directions and planes, guide instructions were worked out with the support of Adobe Macromedia Flash 8.0. Some pictures were created with Solid Works. Course interactivity is accomplished by proposed exercises and *chat* among the participants. For providing continuous improvement, students at the end can answer a survey about the course structure and the available theoretical concepts.

SUMÁRIO

Página

1 INTRODUÇÃO 8

2 OBJETIVO 10

3 REVISÃO DA LITERATURA 11

3.1 Educação a Distância – EaD 11

3.1.1 Diferença entre Ensino a Distância e Educação a Distância 11

3.1.2 História da EaD 11

3.2 Cristalografia 13

3.2.1 Histórico da Cristalografia 13

3.3 Por que um curso de EaD sobre índices de Miller? 19

3.4 Visualização Científica 20

3.4.1 Tridimensionalidade 21

3.5 Ambientes Virtuais de Aprendizagem - AVA 21

3.5.1 Principais Recursos de um AVA 22

4 METODOLOGIA 24

5 RESULTADOS 26

5.1. Requisitos para a pesquisa dos AVA 26

5.2 Universidades Pesquisadas 26

5.3 Ambientes Pesquisados 27

5.3.1. AMADEUS – (*BLENDED LEARNING*) 27

5.3.2 MOODLE – Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment 28

5.3.3 TELEDUC 30

5.3.4 Tidia-Ae (Tecnologia da Informação no Desenvolvimento da Internet Avançada - Aprendizado Eletrônico) 31

5.4 Desenvolvimento do curso EaD 33

5.4.1 Plataforma escolhida 33

5.4.2 Hospedagem do curso 33

5.4.3 Domínio do curso 33

5.4.4 *Home Page* do curso 34

5.4.5 Acesso ao curso 34

5.4.6 Identificação 34

5.4.7 Página principal do curso 35

5.5.8 Divisão do curso 35
5.5.9 Instruções gerais 36
5.5.10 Introdução 36
5.5.11 Estruturas Cristalinas 36
5.5.12 Células Unitárias 37
5.5.13 Alguns Tipos de Estruturas Cristalinas 37
5.5.14 Os 7 Sistemas Cristalinos 38
5.5.15 Pontos, Direções e Planos Cristalográficos 38
5.5.16 Coordenadas dos Pontos 39
5.5.16.1 Especificação das Coordenadas de Pontos - Célula CCC 39
5.5.16.2 Localização de Ponto com Coordenadas Específicas 40
5.5.17.1 Exemplos Interativos 41
5.5.17.2 Roteiro para as Direções 42
5.5.17.2.1 A partir do traço de uma direção encontrar seus índices. 42
5.5.17.2.2 Traçar a direção a partir de seus índices 43
5.5.18 Planos Cristalográficos 43
5.5.18.1 Exemplos Interativos 44
5.5.18.2 Roteiro para os Planos 45
5.5.18.2.1 A partir do traço de um plano cristalográfico encontrar seus índices. 45
6 CONCLUSÕES 50
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 52

1 INTRODUÇÃO

A rápida evolução tecnológica vivida pela sociedade moderna tem modificado de forma importante a didática, bem como acarretado em novas maneiras de se processar o ensino, seja em aulas presenciais, seja em aulas não presenciais. A modalidade Educação a Distância (EaD) talvez seja a que mais absorveu os avanços tecnológicos propiciados pelas Novas Tecnologias.

No passado recente, essa modalidade de ensino, era considerada por muitas instituições como de segunda categoria e sofria grande preconceito, principalmente pelo ensino superior [1].

Existe há pelo menos 150 anos, mas nas últimas três décadas teve seu crescimento e desenvolvimento acentuados. Os governos de todo o mundo sofreram pressão social por maior acesso ao ensino superior, e por isso se interessaram pela EaD [1].

Nessa modalidade de ensino, professores e alunos não estão fisicamente juntos, mas conectados por meios tecnológicos, que podem ser: correios, rádio, televisão, internet, celulares [2].

As tecnologias de comunicação virtual avançaram muito. A Internet já possui tecnologia *streaming*, transmissão de som e imagem em tempo real. O professor está em um estúdio de gravação, de onde será transmitida uma aula, ao vivo, e é possível a interação com alunos que estão em locais (cidades, estados, países) distintos [2].

Com o advento da Internet os cursos que vieram antes da EaD, como cursos por correspondência e os telecursos, ganharam inovações como o uso dos DVDs, CD-ROMs, tele e videoconferências. Houve uma verdadeira revolução tecnológica, social e pedagógica na Educação. As pessoas que antes não podiam estudar por falta de recursos econômicos e técnicos, viram na EaD a oportunidade de fazer parte dessa nova sociedade digital, que não tem fronteiras [3].

Alguns dos motivos para se matricular em um curso EaD são: falta de tempo para frequentar uma sala de aula tradicional, baixo custo da modalidade, a possibilidade de realizá-lo em qualquer lugar, a qualquer hora, bastando apenas acesso à Internet e no que concerne a este trabalho, a possibilidade de interagir com imagens tridimensionais quando se estuda os Índices de Miller aplicados em cristalografia.

A proposta deste trabalho surgiu da experiência do orientador com o ensino de ciência dos materiais e metalurgia física em cursos de graduação e pós-graduação. Nestas disciplinas, não são poucos os alunos que apresentam dificuldades enormes com o entendimento de conceitos que estão envolvidos no estudo de estruturas cristalinas e assuntos correlatos. A questão agrava-se ainda mais, pois tais temas são pontos de partida para a introdução de outros conceitos. As causas destas dificuldades são muitas e uma ampla discussão sobre elas está fora dos propósitos deste trabalho. Entretanto, há uma causa comum, subjacente à maioria das queixas: dificuldade de visualização de algo que é tridimensional em apenas duas dimensões. Um dos temas onde tais problemas são muito evidentes é a determinação de pontos, direções e planos cristalográficos utilizando os conhecidos índices de Miller.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um curso de Educação a Distância – EaD – que auxilie alunos de graduação e pós-graduação a melhor compreender a determinação dos Índices Cristalográficos de Miller, por meio da visualização tridimensional interativa. Serão abordados apenas os Índices de Miller aplicados a células unitárias cúbicas.

As metas fundamentais para atingir esse objetivo são:

a) escolher a plataforma (AVA – ambiente virtual de aprendizagem) para desenvolver o curso;
b) criar um domínio para o curso;
c) hospedar o curso na Internet: para isso escolher um provedor de hospedagem;
d) desenvolver imagens tridimensionais que possam ser manipuladas pelo aluno.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Educação a Distância – EaD

3.1.1 Diferença entre Ensino a Distância e Educação a Distância

Segundo Chermann e Bonini [4], Ensino a Distância diz respeito às atividades de treinamento, adestramento e instrução, enquanto que Educação a Distância refere-se à prática educacional e à aprendizagem, onde o aluno aprende a aprender, pensa, cria, inova e constrói seu conhecimento.

3.1.2 História da EaD

No século XIX esse tipo de ensino começa a se consolidar. Em 1856, foi fundada, em Berlim, a primeira escola de línguas por correspondência [4].

Existe há pelo menos 150 anos, mas nas últimas três décadas teve seu crescimento e desenvolvimento acentuados. Os governos de todo o mundo sofreram pressão social por maior acesso ao ensino superior, e por isso se interessaram pela EaD [1].

> "*Educação a distância é o processo de ensino-aprendizagem, mediado por tecnologias, onde professores e alunos estão separados espacial e/ou temporalmente*." [2]

Há instituições de educação a distância totalmente virtuais, como é o caso da *Open University* na Inglaterra e a Universidade Nacional de Educação a Distância (UNED) na Espanha [2]. As tecnologias de comunicação virtual avançaram muito. A Internet já possui tecnologia *streaming*, transmissão de som e imagem em tempo real. O professor está em um estúdio de gravação, de onde será transmitida uma aula, ao vivo, e é possível a interação com alunos que estão em locais (cidades, estados, países) distintos [2].

No Brasil a EaD teve seu início entre 1922 e 1925, com Roquete Pinto e a Rádio Sociedade do Rio de Janeiro, através da transmissão de programas dedicados à cultura, com o objetivo de ampliar o acesso à Educação. [Chermann e Bonini [4] *apud* Saraiva, 1996, p.19]. A Educação a Distância foi oficializada no Brasil em 1996 pela LDB - Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – lei nº 9394, de 20 de dezembro de 1996, pelo decreto nº 2494 de 10 de fevereiro de 1998 [3].

O advento da Internet revolucionou os cursos que vieram antes da EaD, como cursos por correspondência e os telecursos que ganharam inovações como o uso dos DVDs, CD-ROMs, tele e videoconferências. Houve uma verdadeira revolução tecnológica, social e pedagógica na Educação. As pessoas que antes não podiam estudar por falta de

recursos econômicos e técnicos, viram na EaD a oportunidade de fazer parte dessa nova sociedade digital, que não tem fronteiras [3]. Inúmeros projetos contribuíram para o crescimento da EaD no Brasil, dos quais alguns estão descritos na TAB.1 [3].

A Educação a Distância é uma opção para a formação continuada, para a aceleração profissional e para conciliar estudo e trabalho [2]. É dividida em quatro gerações. A primeira são os cursos por correspondência, a segunda são as transmissões radiofônicas e televisivas, a terceira os meios de transmissão e recepção de informação (cd, internet, fibra ótica, satélites) e a quarta é a atual em que vivemos: a escola virtual [4].

TABELA 1 – Crescimento da EaD no Brasil

Ano	**Acontecimento**
1904	Cursos por correspondência em escola privadas internacionais.
1934	Rádio-Escola Municipal, no Rio de Janeiro, fundada por Roquete Pinto.
1939	Criado o Instituto Universal Brasileiro (cursos por correspondência).
1941	Primeira Universidade do Ar.
1947	Segunda Universidade do Ar patrocinada pelo Senac e Sesc.
1961 1965	MEB (Movimento de Educação de Base) – criado pelo governo federal e a igreja católica que usava um sistema radioeducativo: educação, conscientização, politização e educação sindicalista.
1970	Projeto Minerva – Fundação Padre Anchieta e Padre Landell de Moura para produção de textos e programas.
1972	Newton Sucupira é enviado à Inglaterra como conselheiro à frente de um grupo de educadores. O relatório final elaborado por esse grupo impôs um grande obstáculo à implantação da Universidade Aberta e a Distância no Brasil, pois mostrava uma posição reacionária às mudanças no sistema educacional brasileiro.
1980	Fundação Roberto Marinho cria telecursos para 1º e 2º graus
1992	Universidade Aberta de Brasília.
1996	UFSC implantou um programa de pós-graduação em Engenharia de Produção (mestrado e doutorado) que envolvia uma rede estadual de oito universidades oficiais e privadas e empresas de grande porte tecnológico.
1997	Mestrado Tecnológico em Logística (Petrobrás) ministrado pelo Laboratório de Ensino a Distância do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC.
2005	Faculdade Carioca implanta curso de graduação baseado em Lotus Notes para as disciplinas Administração, Economia, Ciências Contábeis, Comunicação Social, Desenho Industrial, Matemática e Letras.
2005	Escola do Futuro: cursos de Astronomia, Tratamento de Imagens e atualização de professores de Ensino Fundamental e Médio.
2005	Universidade Federal Paulista: Programas de Educação em Biologia Molecular e Engenharia Genética.

3.2 Cristalografia

A Cristalografia é um ramo da ciência, uma subdisciplina da Ciência dos Minerais, que estuda o arranjo atômico dos materiais sólidos. No início, seu foco era a geometria, a simetria externa e as propriedades óticas dos cristais [5].

Um cristal é um sólido contido dentro de um plano ou superfícies curvas, formado por estruturas cristalinas que possuem em sua formação átomos ou moléculas arranjados de forma repetitiva e tridimensional, o que confere a forma plana às suas faces externas [6,7]. A palavra cristal vem do grego *Krystallos* e significa tanto gelo quanto quartzo [8].

Nas linhas seguintes será apresentado um breve histórico da cristalografia com o intuito de contextualizar os índices cristalográficos de Miller, aspecto negligenciado pela maioria dos livros de ciência dos materiais mais difundidos em cursos de graduação e pós-graduação no Brasil.

3.2.1 Histórico

A primeira referência histórica de uso de cristais, provavelmente foi na civilização dos antigos sumérios no 4º milênio a.C., que o empregavam na preparação de fórmulas mágicas. Foram e ainda são usados na medicina chinesa há pelo menos 5.000 anos. Os egípcios usavam-nos na fabricação de joias e cosméticos (transformavam a galena e a malaquita em pó para usar como sombra nos olhos) e acreditavam no seu poder de cura e proteção [6,8].

Existem cristais de formas variadas, como ilustrado na FIG.1.

Octaedros de magnetita

Cubo de pirita

Prisma e pirâmides (quartzo)

FIGURA 1 – Algumas formas de cristais encontrados na natureza [12]

O filósofo grego Theophrastus (371-287 a.C.), pupilo de Aristóteles, escreveu o primeiro tratado sobre os minerais: *On Stones*. Nesse tratado, Theophrastus afirmava que as pedras se solidificavam através do calor ou do frio [8-10].

No século I d.C., o romano Gaius Plinius Secundus (23-79 d.C.) conhecido como Plínio o Velho, descreveu em seu trabalho História Natural, as janelas das habitações dos romanos ricos recobertas por cristais de "Lapis Specularis", nome em latim para grandes cristais de gesso transparentes [8,9], como descrito na FIG.2.

(a) (b)

FIGURA 2 - (a) Janela de habitação romana feita com Lapis Specularis; (b) Lapis Specularis encontrados em escavação arqueológica [12]

Lapis Specularis, ou selenita [12], é um gesso selenítico transparente que devido à sua estrutura ter o aspecto de folhas, pode ser facilmente cortado em finas camadas separadas seguindo determinado plano. Segundo Plínio, era encontrado na Hispania Citerior (província mais extensa do Império Romano [14]), a 100 mil passos da cidade Segóbriga e também em Chipre, na Sicília, na Capadócia e na África [11].

Durante os 1300 anos seguintes a Plínio, pouco se publicou sobre os minerais [9]. Segundo Lima-de-Faria [15], em 1540 Vanuccio Biringuccio em seu tratado The Pirotechnia, foi o primeiro a reconhecer a constância dos ângulos interfaciais dos cristais nos cubos de pirita.

Com a publicação do livro *De Re Metallica* do médico alemão Georgius Agricola, nascia a mineralogia como ciência [9]. Agricola foi considerado o pai da mineralogia, sendo o primeiro a classificar os minerais de acordo com sua propriedade física [8].

Johannes Kepler (1571-1630) matemático, astrônomo e astrólogo alemão foi o primeiro que questionou a estrutura do cristal quando um floco de neve caiu sobre seu casaco. Ele se perguntou: Por que flocos de neve individuais (FIG. 3), antes de combinarem-se a outros flocos, sempre possuem seis pontas? Por que não cinco ou sete pontas? Em seu trabalho *Six-cornered Snowflake* (1611), Kepler fez a primeira descrição matemática dos cristais. Também fez uma grande descoberta para a geometria conhecida como empacotamento das esferas, mais tarde comprovado por Karl Gauss no século XIX [8,19].

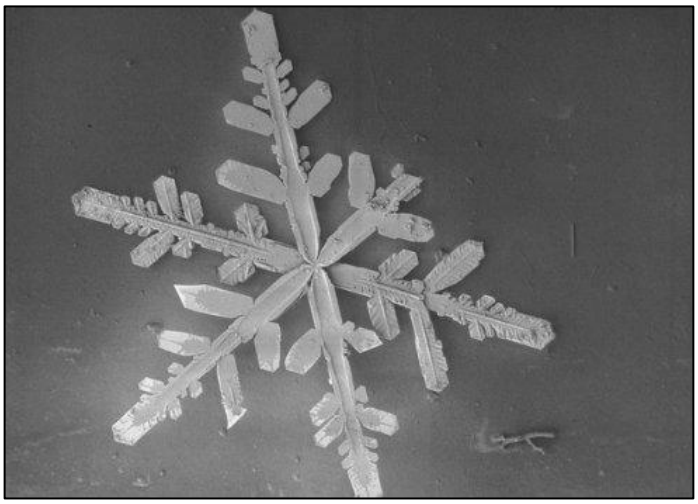


FIGURA 3 – Floco de neve (Microscopia Eletrônica de Varredura) [17]

Em 1669, o bispo e cientista Nicolas Steno em seu tratado *De Solido intra Solidum* observou que os ângulos formados entre as faces do cristal de quartzo eram constantes embora tivessem procedência, constituição e tamanho diferentes. Essa foi a maior contribuição para a cristalografia no século XVII [8,9].

Mais de cem anos depois, em 1783, o cristalógrafo francês Romé de l'Isle, com a ajuda de um goniômetro (FIG.4), aparelho inventado por Arnould Carangeot em 1780, consolidou os resultados obtidos por Steno e seus antecessores e formalizou a Lei de Constância dos Ângulos Interfaciais dos Cristais em seu trabalho, *Cristallographie* [5,8,9].

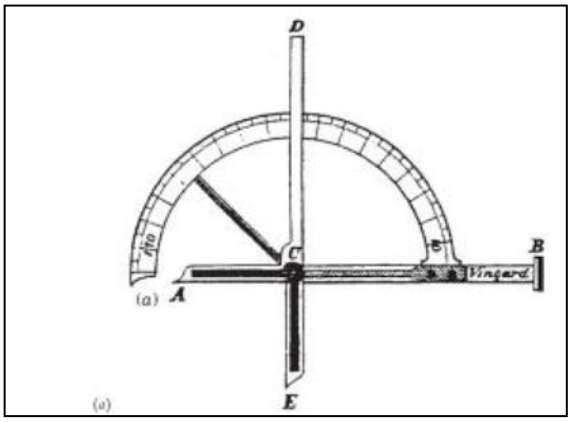


FIGURA 4 – Goniômetro de Carangeot [13]

De acordo com Authier [18], o francês René-Just Haüy era mineralogista e cristalógrafo. Recebeu educação clássica e teológica e em 1770 foi ordenado padre [19;20].

Em 1784, Haüy propôs que existiam seis formas de estruturas primárias: paralelepípedo, dodecaedro rômbico, bipirâmide hexagonal, prisma hexagonal, octaedro e tetraedro. Seu trabalho *Essai d'un Théorie sur la Structure des Cristaux* (1784) foi muito difundido e serviu de base para os cristalógrafos e mineralogistas durante a primeira metade do século 19. Esse trabalho fundamentou a teoria matemática da estrutura cristalina [19].

Para Haüy, os cristais eram compostos por matrizes de blocos subdivididos chamados de moléculas integrais (o que chamamos hoje de célula unitária) e que replicando os mesmos blocos em direções diferentes, se obteriam formas externas diferentes como é mostrado na FIG.5 [20].

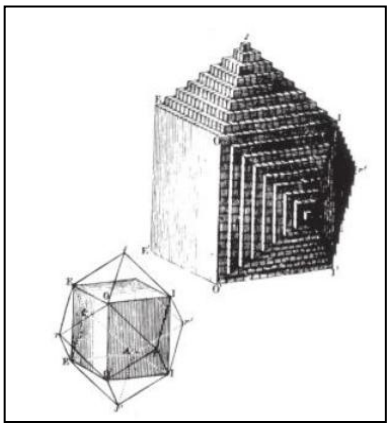


FIGURA 5 – Desenvolvimento de um dodecaedro de granada [20]

Segundo Martinez Ripoll [21], em 1830, o médico alemão Johann Friedrich Christian Hessel baseou-se na lei de Haüy para demonstrar que existem 32 tipos de simetria cristalina ou grupos pontuais no espaço euclidiano. Ou seja, 32 combinações de elementos simétricos que passam por um ponto dentro do sólido cristalino.

O britânico William Hallowes Miller, mineralogista e cristalógrafo, ficou conhecido pelos índices cristalográficos que levavam seu nome: Índices de Miller (h k l) [20].

Quando Miller publicou o seu trabalho em 1839, vários cristalógrafos já haviam abordado o assunto. Os índices receberam seu nome em razão da sistematização e consolidação do sistema de indexação, e também em razão de seu prestígio [15].

Mais tarde, em 1848, o físico francês Auguste Bravais demonstrou matematicamente que bastavam 14 tipos de redes espaciais para descrever os sólidos cristalinos, que ficaram conhecidas como Redes de Bravais, corrigindo seu antecessor o alemão Moritz Ludwig Frankenheim, que postulava 15 redes [21]. As Redes de Bravais são constituídas por um tipo geral (triclínico) e mais 13 especiais (FIG.6) [21]. Os 7 sistemas cristalinos são descritos a partir de relações específicas entre os valores das dimensões a, b e c das células unitárias e dos ângulos α, β e γ (FIG.7).

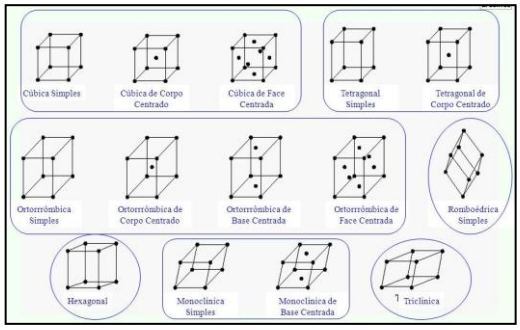
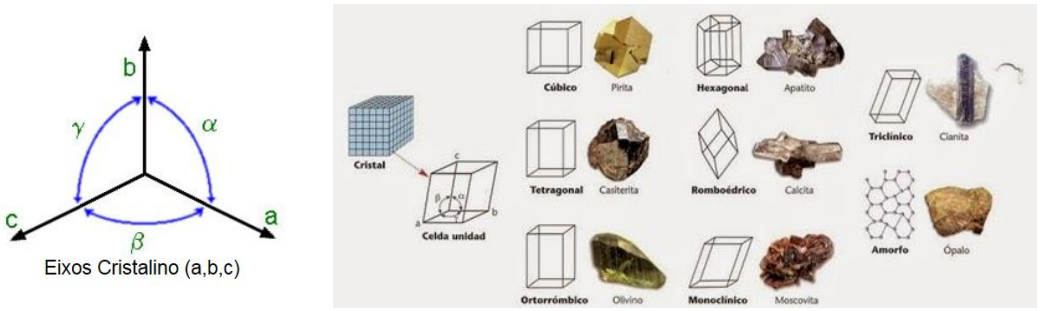


FIGURA 6 – As 14 redes espaciais de Bravais agrupadas em 7 sistemas cristalinos [21]



a) (b)

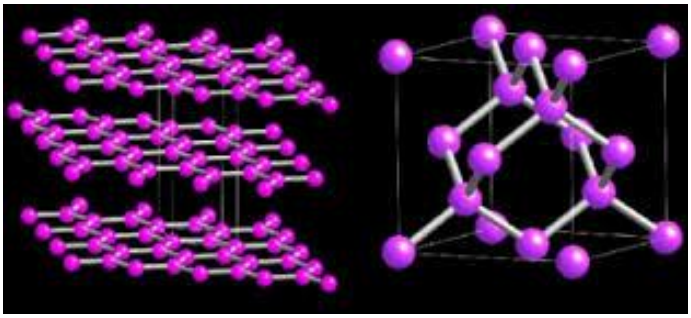
FIGURA 7 - (a) Parâmetros de rede (a,b,c, α, β e γ) [52]; (b) Sistemas Cristalinos [53].

Com a descoberta dos raios-X, em 1895 por Wilhelm Röntgen, a cristalografia sofreu uma grande revolução, pois seria possível ver a estrutura da matéria de forma não invasiva. A moderna cristalografia é conhecida como cristalografia de raios-X [23].

O uso dos raios-X em cristalografia, interagindo com átomos e moléculas, levou mais de uma década para ser estudado pelos físicos. Foi Max von Laue que, em 1912, provou que os átomos de um cristal, em razão de seu arranjo regular, podem difratar um feixe de raios-X, ou seja, dispersá-lo em direções específicas [23,24].

A cristalografia de raios-X auxilia o estudo das ligações químicas entre os átomos. Na FIG.8 são mostradas as estruturas cristalinas do grafite e do diamante, ambos

compostos por átomos de carbono, mas diferentes em suas ligações químicas. Tais diferenças, reveladas pela difração de raios-X, auxiliam no entendimento do porquê o grafite é macio e opaco, enquanto o diamante é duro e transparente, além de brilhante [23].



(a) (b)

FIGURA 8 - Estruturas cristalinas do grafite (a) e do diamante (b) [53]

A cristalografia de raios-X contribuiu também para diversas descobertas no campo da biologia e da medicina após William Henry Bragg e seu filho William Lawrence Bragg, em 1913, determinarem, por meio da difração de raios-X, o arranjo atômico de materiais cristalinos simples como sal, pirita, fluorita e calcita [25].

A estrutura cristalina do DNA ("dupla hélice") foi uma das maiores descobertas do século XX, feita por James Watson e Francis Crick (1962), a partir de experimentos com difração de raios-X da pesquisadora Rosalind Franklin [23]. A determinação das estruturas de macromoléculas da vitamina B12, da penicilina e da insulina, esta última em 1969, por Dorothy Crowfoot Hodgkin, foi outro marco da cristalografia de raios-X na área biológica [24].

Os pesquisadores americanos Herb Hauptman e Jerome Karle publicaram em 1953 a monografia *The Phases and Magnitudes of the Structure Factors* que tratava do desenvolvimento de métodos para analisar estruturas cristalinas. Por esse trabalho receberam, em 1985, o prêmio Nobel de Química, contribuindo para que fossem decifradas as estruturas cristalinas de vários compostos [23,26].

Recentemente outros cientistas receberam o prêmio Nobel: Venkatraman Ramakrishnan, Thomas Steitz e Ada Yonath (2009); Andre Geim e Konstantin Novoselov (2010) pelos seus trabalhos com grafeno, que constitui uma nova classe de materiais cuja estrutura cristalina é bidimensional e possui propriedades eletrônicas e mecânicas únicas; Dan Shechtman (2011) pelo descobrimento dos quasicristais, e Robert Lefkowitz e Brian

Kobilka (2012) por desvendarem o funcionamento de uma família de receptores celulares que regulam a maior parte das funções do corpo humano [23].

Além de estudos na área de mineralogia e engenharia, a cristalografia é aplicada nos mais variados segmentos: na indústria farmacêutica, na pesquisa de novos medicamentos; na indústria têxtil, para fabricar roupas "inteligentes" que mantém a temperatura do corpo no frio e permitem a passagem do ar no calor; na indústria alimentícia, na fabricação do chocolate, por exemplo, já que a manteiga de cacau cristaliza-se de seis formas diferentes; nas pesquisas aeroespaciais, para estudar o solo do planeta Marte, como ocorreu em 2012 com o envio pela NASA do robô Rover, equipado com um difratômetro de raios-X [23]. A importância da cristalografia é tamanha, que 2014 foi eleito o ano internacional da cristalografia pela União Internacional de Cristalografia e pela UNESCO [23].

O interessante a notar a partir deste histórico é que os estudiosos de cristais já tinham antes do advento da difração de raios-X, um conceito de que os cristais possuíam átomos arranjados regulamente. Tal noção advinha do estudo das faces planas dos cristais naturais. O sistema de indexação organizado por Miller foi elaborado para descrever tais faces, qualquer que fosse o sistema cristalino em questão. Tal aspecto é omitido pelos principais livros didáticos de ciência dos materiais, que apresentam os índices atrelados ao conceito de célula unitária e muitas vezes após introduzir os conceitos de difração. A própria União Internacional de Cristalografia considera que esta temática foi iniciada com a descoberta da difração de raios-X, o que não faz jus ao legado dos cientistas do passado que desenvolveram a cristalografia a princípio como uma vertente da mineralogia.

3.3 Por que um curso de EaD sobre índices de Miller?

Ao se descrever materiais cristalinos, é necessário especificar ou referenciar uma determinada posição do arranjo atômico do cristal, ou mesmo definir uma direção ou plano cristalográfico de átomos. Para tal, utilizam-se os Índices de Miller, sistema que se popularizou a partir do século XIX [27,50].

A compreensão de como se determinar tais pontos, direções e planos pode ser facilitada por representações tridimensionais interativas das células unitárias dos cristais. Neste tipo de visualização é possível interagir com as imagens, observando-se o objeto por diferentes ângulos, algo incomum nas ilustrações bidimensionais de livros de ciência dos materiais e afins, adotados em cursos de graduação e pós-graduação.

A ilustração da FIG.9 trata de um exemplo de representação bidimensional de uma célula unitária tridimensional.

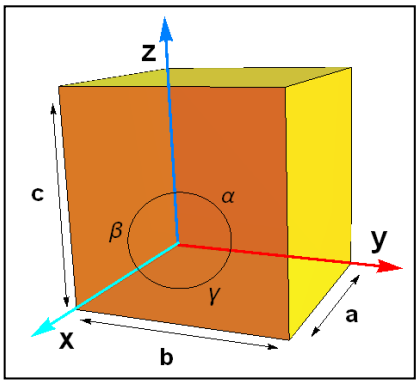


FIGURA 9 – Sistema de coordenadas na célula unitária [44].

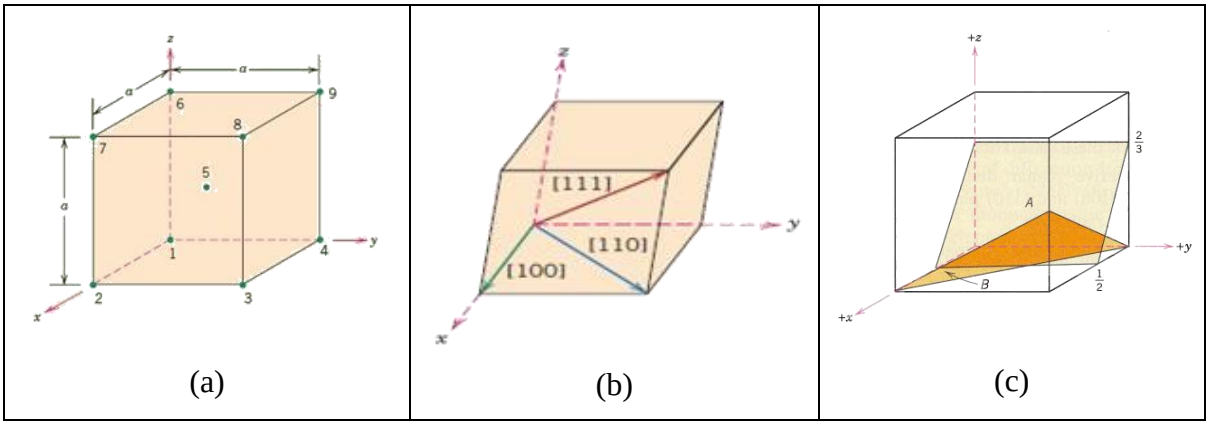


FIGURA 10 - Exemplos de pontos (a), direções (b) e planos cristalográficos (c) de uma célula cúbica [27]

A análise dos exemplos anteriores permite identificar a dificuldade em compreender e determinar pontos, direções e planos cristalográficos no interior de uma célula cúbica, devido à bidimensionalidade das figuras. Essa foi a razão para desenvolver um curso EaD, que utilizasse os recursos de visualização científica como apoio para o aprendizado do tema.

3.4 Visualização Científica

O termo surgiu em 1987 no relatório “Visualization in Scientific Computing” [28].

A Visualização Científica é um método da computação para gerar imagens que aulixiem na compreensão de dados gerados pela simulação ou por medições físicas (Haber e Macnabb *apud* Ramos [58]). Ela transforma o simbólico no geométrico, permitindo que

pesquisadores observem simulações e cálculos. Oferece um método para visualizar o que não está visível. Em muitos campos, está revolucionando a forma como os cientistas fazem ciência. É uma ferramenta para interpretar os dados inseridos no computador, e para a geração de imagens a partir de complexos conjuntos de dados multidimensionais [28]. Ela é aplicada em diversas áreas, incluindo engenharia, medicina, bioengenharia, geologia, meteorologia, entre outras. Suas diversas técnicas possibilitam a representação de dados escalares, vetoriais e tensoriais.

3.4.1 Tridimensionalidade

É notória a dificuldade de visualização da tridimensionalidade por parte dos alunos. Exemplo disso são as células estudadas nas ciências da natureza, em sua maioria microscópicas, com tamanhos e formas variados, difíceis de representar fotográfica ou esquematicamente em duas dimensões. Assim, os alunos têm dificuldades de compreensão sobre as diferenças das células que constituem o corpo humano e suas reais dimensões, da forma como são representados nos livros didáticos [29].

Em seu trabalho, Delizoicov apud Amaral [29] afirma que:

> *"A maioria das ilustrações que se encontram nos bons livros é pouco explicativa para quem tem um primeiro contato com as informações a ser passadas. A utilização de cortes, de projeções bidimensionais, de perspectivas distorcidas e de ampliações tornam os objetos tridimensionais irreconhecíveis para a maioria dos sujeitos que os veem pela primeira vez."*

Os modelos bidimensionais, vistos nos livros, prejudicam a aprendizagem, pois fazem com que os alunos construam conceitos, relações e dimensões equivocados. O que nos leva a acreditar, que os modelos tridimensionais podem contribuir ativamente para um aprendizado mais próximo da realidade em estudo [29].

3.5 Ambientes Virtuais de Aprendizagem - AVA

A Internet teve sua popularização na década de 90 trazendo o desenvolvimento tecnológico e com isso novas ferramentas e aplicativos. Os ambientes virtuais de aprendizagem tiveram seu início nesse momento [30].

Em 1998 (McGreal *apud* Paiva), foram listados 23 AVAs: *Forum, Virtual-U, Learning Space, Learning Server, Symposium, Web-CT, FirstClass, TopClass, ClassNet, CourseSite Generator, Flax, IBT Author, Mallard, Oracle Learning Architecture, Peebblesoft, Polis, Serf, ShareKnowledge, Socrates, The Learning Manager, ToolBook II Librarian, Web Course in a Box* e *Zebu*. Nessa lista, não foram incluídos o *Blackboard*,

ambiente de muito sucesso no Brasil, junto com *WebCT*, *LearningSpace* e *FirstClass* [30]. Devido a todos esses aplicativos terem um alto custo, grupos de pesquisa começaram a ser formados em grandes universidades para desenvolver ambientes virtuais de aprendizagem gratuitos e alguns com o código aberto.

Em seu trabalho Paiva [30], afirma que *os ambientes virtuais de aprendizagem oferecem espaços virtuais ideais para que os alunos possam se reunir, compartilhar, colaborar e aprender juntos*. Ressalta que, no Brasil, tais ambientes virtuais se popularizaram como AVAs, mas também receberam diferentes siglas em inglês: LMS (Learning Management System), CMS (Course Management System ou Content Management System), LCMS (Learning Content and Management System) e IMS (Instructional Management Systems). Tori [31] utilizou a sigla LMS para identificar tais sistemas, embora considere que qualquer denominação empregada esteja correta e possa ser usada para denominar cursos a distância, *blended learning* ou como suporte a atividades presenciais.

Neste trabalho, será usada a sigla AVA para denominar os ambientes virtuais de aprendizagem, por ter sido a mais referenciada na pesquisa realizada.

De acordo com Paiva [30] e Behar [32], AVA é um espaço na Internet formado pelos sujeitos, suas comunicações e formas de interação numa plataforma cujo objetivo é aprender. Segundo Behar [32], plataforma é uma infraestrutura tecnológica composta por comunicação síncrona, assíncrona e interface gráfica. A comunicação síncrona (*chat* e videoconferência) permite a comunicação entre as pessoas em tempo real, enquanto que a comunicação assíncrona (fórum e *e-mail*) dispensa a participação simultânea das pessoas.

Um bom AVA é aquele que disponibiliza em único ambiente tecnológico todos os componentes necessários para o estudo *online* [33].

3.5.1 Principais Recursos de um AVA

Os principais recursos de um Ambiente Virtual de Aprendizagem são [31]:

a) Gerenciamento do curso: criação de cursos, disciplinas, matrícula de alunos, gerenciamento de senhas, registro de atividades e de acessos realizados pelos usuários, cálculo e publicação de notas;

b) Gerenciamento de conteúdo: armazenamento, gerenciamento, edição e exibição de conteúdo multimídia;

c) Disco virtual: área de trabalho na qual o usuário pode fazer *downloads*, *uploads* e visualização de conteúdos;

d) Correio eletrônico (*e-mail*);

e) Mensagem instantânea: comunicação síncrona e a troca de documentos entre usuários que estejam conectados ao sistema;

f) Sala de bate-papo (*chat room*): sala virtual para encontros e troca de mensagens síncronas, podendo ser de texto, vídeo ou voz;

g) Fórum de discussão: local onde são postadas questões sobre o curso para serem debatidas pelos alunos;

h) Lousa virtual (*white board*): comunicação síncrona no qual os usuários compartilham uma tela que pode receber desenhos, textos e outras mídias;

i) Quadro de avisos: área para publicação de informes de interesse geral;

j) Compartilhamento de recursos: permite que um ou mais usuários compartilhem a tela, um documento ou recursos de seus computadores;

k) Avaliação: correção de avaliações, programação de horário para disponibilização da avaliação aos alunos, controle de tempo de realização, correção automática, cálculo e publicação de médias, geração de estatísticas e até mesmo *feedback* automático ao aluno sobre o seu desempenho;

l) Área de apresentação do aluno**:** oferece ao aluno, ou grupo de alunos, recursos similares aos disponíveis ao professor para publicação de conteúdo multimídia.

4 METODOLOGIA

Para escolher o AVA mais apropriado para desenvolver o curso EaD, optou-se por analisar os gratuitos (alguns de código aberto) adotados por instituições de ensino brasileiras. A pesquisa também foi embasada por livros que abordam o tema: “Educação sem Distância – As tecnologias Interativas na Redução de Distâncias em Ensino e Aprendizagem” [31], “Modelos Pedagógicos em Educação a Distância” [32], “EAD nas organizações” [34], “Competências em educação a Distância” [32], por artigos científicos e pelos próprios sites de cada ambiente virtual. O buscador *GOOGLE* também foi consultado para obter os endereços eletrônicos das instituições de ensino.

As instituições pesquisadas foram: **UFPE** – Universidade Federal de Pernambuco, **USP** – Universidade de São Paulo, **UNICAMP** – Universidade Estadual de Campinas, **UNIFESP** – Universidade Federal de São Paulo, **PUC** – Pontifícia Universidade Católica, **UFBA –** Universidade Federal da Bahia, **UPM** – Universidade Presbiteriana Mackenzie, **UFSCAR –** Universidade Federal de São Carlos, **Universidade Anhembi Morumbi**, **UnB –** Universidade de Brasília, **UFPR –** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, **UERGS –** Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, **UFABC –** Universidade Federal do ABC, **UFMG –** Universidade Federal de Minas Gerais, **UEMG –** Universidade do Estado de Minas Gerais, **UFPR –** Universidade Federal do Paraná.

Nos sites dos ambientes virtuais, foram coletadas as imagens e características de cada ambiente estudado.

As imagens tridimensionais interativas foram elaboradas no *software Wolfram Mathematica* 10.0.1, por ser um *software* oferecido aos alunos da USP e que possui um banco de imagens alimentado com dados de simulações reais. Os roteiros foram elaborados no *software Adobe Macromedia Flash 8.0.* As imagens das células unitárias CCC e CFC foram elaboradas no *software Solid Works* 2013 por ser um *software* de modelagem 3D.

A parte teórica do curso foi embasada por livros que abordam o tema: “Ciência de Materiais Uma Introdução” [27], “Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais” [50], “Princípios de Ciência dos Materiais” [51] e “Introdução à Física do Estado Sólido" [22].

O curso está estruturado de forma assíncrona. Cada participante inicia e termina o curso conforme sua disponibilidade.

Nesta versão, estão contempladas as células unitárias cúbicas mais comumente estudadas.

O curso está hospedado no servidor *web* MCO2 [35] e pode ser acessado de qualquer computador, em qualquer parte do mundo. Basta apenas ter o endereço eletrônico.

O equipamento utilizado para o desenvolvimento do curso e das imagens foi um notebook com processador Intel Core i3, 4GB de memória RAM, disco rígido com capacidade de armazenamento de dados de 320GB e Internet banda larga de 10MB.

5 RESULTADOS

5.1. Requisitos para a pesquisa dos AVA

Dois foram os requisitos:

- Ser gratuito - com código aberto ou não;
- Ser utilizado em grandes instituições de ensino brasileiras.

5.2 Universidades Pesquisadas

Foi feita uma pesquisa dos AVA adotados em universidades brasileiras de renome e o resultado está na TAB.2.

TABELA 2 - Ambientes Virtuais de Aprendizagem nas universidades [40-49]

UNIVERSIDADE	SIGLA	AVA
Pontifícia Universidade Católica	**PUC**	Moodle/Teleduc
Universidade Anhembi Morumbi	**-------**	Moodle
Universidade de Brasília	**UnB**	Moodle
Universidade de São Paulo	**USP**	Tidia-Ae
Universidade do Estado de Minas Gerais	**UEMG**	Teleduc
Universidade Estadual de Campinas	**UNICAMP**	Moodle/Teleduc
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul	**UERGS**	Moodle
Universidade Federal da Bahia	**UFBA**	Moodle
Universidade Federal de Minas Gerais	**UFMG**	Teleduc
Universidade Federal de Pernambuco	**UFPE**	Amadeus
Universidade Federal de São Carlos	**UFSCAR**	Moodle
Universidade Federal de São Paulo	**UNIFESP**	Moodle
Universidade Federal do ABC	**UFABC**	Tidia-Ae
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	**UFRGS**	Moodle
Universidade Presbiteriana Mackenzie	**UPM**	Moodle
Universidade Federal do Paraná	**UFPR**	Moodle

De acordo com a TAB.2 o ambiente virtual de aprendizagem ***MOODLE*** é o mais utilizado entre as universidades brasileiras.

5.3 Ambientes Pesquisados

5.3.1. AMADEUS – (*BLENDED LEARNING*)

O sistema AMADEUS (FIG.11) foi concebido e desenvolvido por especialistas ligados a grupos de pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). [36]

FIGURA 11 – Tela do ambiente AMADEUS [36]

> "*O Projeto Amadeus é um sistema de gestão de aprendizagem para Educação a Distância baseado no conceito de blended learning, ou seja, uma mistura de aulas a distância com algumas presenciais. Esse tipo de programa oferece horários flexíveis ou pré-definidos, para que cada aluno possa realizar suas tarefas no melhor momento para ele. O Projeto permite ampliar as experiências que os usuários do blended learning já têm para diversas plataformas como Internet, desktop, celulares, PDAs e TV Digital, de forma integrada e consistente...*"[36].

5.3.1.1 Características [36]

- Interface simplificada e intuitiva;
- Uso de uma ampla gama de mídias: chats até a discussão simultânea entre vários usuários que estão assistindo ao mesmo vídeo;
- Compartilhamento de vídeos em situações de chats;
- *Mobile learning*: estilos de interação por meio de dispositivos móveis como celulares;
- Integração com o Sistema Brasileiro de TV Digital;
- Licença Software Público: reduz os custos de aquisição e implantação e também contribui para o constante aperfeiçoamento da ferramenta, a médio e longo prazo, assim como para a sua fácil personalização e a incorporação contínua de novos recursos.

5.3.2 MOODLE – Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment

MOODLE (FIG.12) é um ambiente de virtual de ensino *open-source*, ou seja, de código aberto e gratuito, com estrutura modular o que torna simples a incorporação de novos recursos e funcionalidades. Seu criador é Martin Dougiamas e atualmente, com a difusão do ambiente pelo mundo, existe uma Comunidade Moodle formada por programadores, desenvolvedores e usuários, que contribui ativamente para o aperfeiçoamento e inclusão de novas ferramentas ao sistema. [37;31]

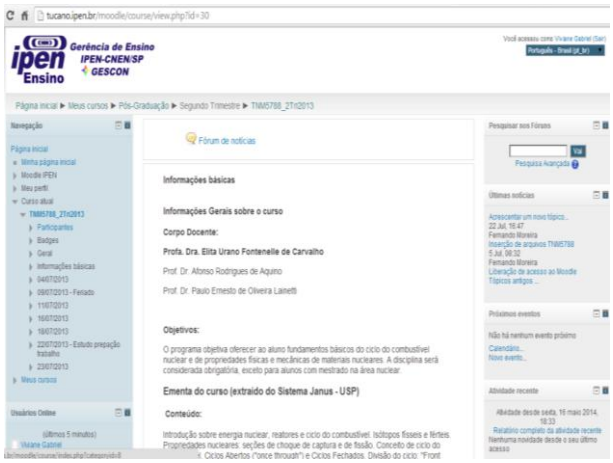


FIGURA 12 – Tela inicial - MOODLE IPEN [55]

> *"O Moodle se tornou tão popular que muitos provedores de hospedagem de servidores e páginas na Internet (datacenters) oferecem a possibilidade de instalar e configurar um servidor Moodle particular com apenas alguns cliques de mouse."* [31]

Há uma grande comunidade que utiliza o *Moodle*, formada por centenas de desenvolvedores e milhões de estudantes pelo mundo. MOODLE HQ [59] é a comunidade de desenvolvimento. Está sediada em Peth, na Austrália. É financiada por uma rede global de parceiros certificados e que prestam serviços ao *Moodle*.

5.3.2.1 Características [37]

- Promove uma pedagogia socioconstrucionista (colaboração, atividades, reflexão crítica.);
- Simples, leve, eficiente, compatível, interface baseada em navegadores de tecnologia simples;
- Fácil de instalar em qualquer plataforma que suporte o *PHP*;
- Independência total da base de dados, suporta todas as principais marcas de base de dados (exceto pela definição na tabela inicial);
- A lista de cursos mostra as descrições de cada curso existente no servidor, incluindo acessibilidade para convidados;
- Cursos podem ser categorizados e pesquisados – um site *Moodle* pode suportar milhares de cursos;
- Ênfase em segurança o tempo todo. Os formulários são todos checados, os dados validados, os *cookies* codificados;
- A maioria das áreas de entrada de texto (recursos, postagens nos fóruns) podem ser editadas usando um editor HTML WYSIWYG incorporado;
- Participantes;
- Fórum;
- Tarefas;
- Administração: edição, fórum, tutores, configurações;
- Vídeo: *Youtube*, *Flash*;
- *Player* de áudio;
- Calendário;
- Últimas notícias: pode-se incorporar *FEEDS.*

5.3.3 TELEDUC

TELEDUC (FIG.13) é um ambiente virtual de ensino gratuito e de código aberto, para a criação, participação e administração de cursos na *Web*. Foi criado a partir da dissertação de mestrado de uma aluna da UNICAMP e desde então é desenvolvido pela equipe do Núcleo de Informática Aplicada à Educação (NIED) da UNICAMP [38].

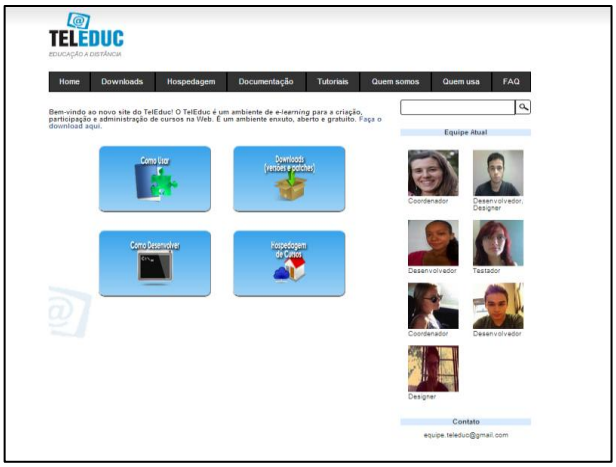


FIGURA 13 – Tela inicial – TELEDUC [38]

5.3.3.1 Características [31,38]

- Agenda: na página de entrada com a programação do curso;
- Avaliação: programação de avaliações on-line e/ou cadastramento de avaliações pelo professor;
- Material de apoio: orientações e materiais complementares;
- Leituras: disponibilizadas pelo professor para os alunos;
- Perguntas frequentes: perguntas feitas pelos alunos com frequência;
- Enquetes;
- Mural;
- Fórum;
- Bate-papo;
- Grupos: grupos para trabalho colaborativo;
- Perfil do aluno;
- Portfólio dos alunos;
- Acessos;
- Intermap: recurso que mostra graficamente as interações realizadas pelos alunos no bate-papo, correio e fórum.

5.3.4 Tidia-Ae (Tecnologia da Informação no Desenvolvimento da Internet Avançada - Aprendizado Eletrônico)

O Tidia-Ae (FIG.14) é um ambiente virtual de aprendizagem de código aberto, que auxilia o ensino eletrônico e oferece suporte ao ensino presencial, financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) [31]. O sistema reúne ferramentas de software desenvolvidas para auxiliar alunos, professores, instrutores e pesquisadores em suas ações e é uma parceria com o sistema *Sakai*, programa gratuito de código aberto que gerencia cursos *on-line* [31].

O Tidia-Ae trabalha com conceito de *Worksite* e utiliza um navegador *web* onde os usuários criam um portal que reúne suas necessidades de aprendizado por meio de um conjunto de ferramentas [56].

Alguns exemplos de *worksite* são relacionados abaixo [56]:

- Professores: realizam provas on-line e disponibilizam material para as aulas de forma que seus alunos acompanhem sua disciplina;
- Gerentes: fazem anúncios, compartilham recursos via web (documentos, links);
- Instrutores: local de discussão para que os estudantes colaborem em atribuições do curso;
- Estudantes: trabalham exercícios, discutem e executam experimentos on-line.

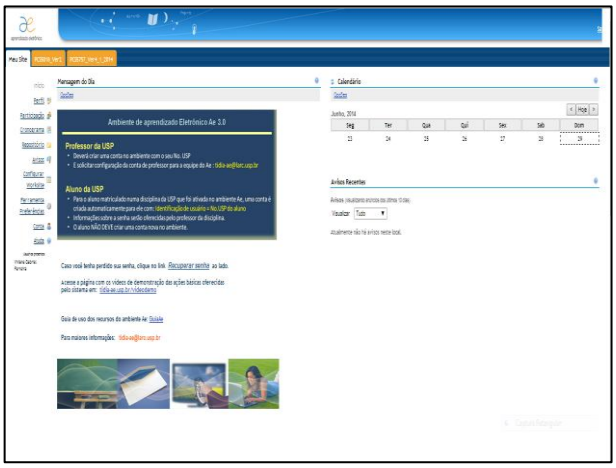


FIGURA 14 – Tela inicial– TIDIA-Ae – USP [39]

5.3.4.1 Características [31]

- Avisos: Exibe avisos, críticas, elogios e informações;
- Atividades: Gerencia atribuições e recebe submissões *on-line*;
- Bate-papo;
- Discussão: Permite a discussão entre usuários, mas não em tempo real;
- Escaninho: Permite que alunos, instrutores e professores compartilhem arquivos e documentos de forma privada;
- Quadro de Notas: Calcula o histórico de notas;
- Ajuda: Acesso aos tutoriais de ajuda;
- Configurar *worksites*: Permite criar, editar ou excluir sites;
- Novidades: Notifica o usuário das últimas alterações nas ferramentas dos *worksites* que ele está associado;
- Ferramenta de vídeos: Permite compartilhar vídeos entre *worksites* além de tocar arquivos *Flash* armazenados no repositório;
- Perfil: Espaço no qual os usuários podem publicar informações pessoais, incluindo foto;
- Recursos: Adição de documentos e endereços de *websites* (URLs) para o seu *worksite*;
- Participantes: Disponibilização da lista dos participantes no site;
- Cronograma: Possibilita a visualização e marcação de datas e de fins de prazos importantes no calendário do *worksite*;
- Informação de turma: Controle de grupos dentro de um *site*;
- Conteúdo Programático: Cria um plano de estudos para o *worksite;*
- Exercícios: Cria, administra e corrige testes e *quizzes on-line*, e alimenta automaticamente o quadro de notas;
- *Links*: Inclui índices externos de portais em seu *worksite*;
- Notícias: Lê notícias de sites em formato RSS;
- Sistemas Administrativos: Importa turmas cadastradas nos sistemas administrativos das instituições de ensino para o ambiente Ae;
- *Whiteboard*: Ferramenta que simula uma lousa e permite que anotações possam ser capturadas e compartilhadas entre os participantes de uma sessão;
- Videoconferência: Ferramenta de áudio/vídeo com agendamento de sessão;

- *Digae Session*: Ferramenta DiGaE (*Distributed Gathering Environment*)pode conter áudio/vídeo, chat e lousa compartilhados.
- Comunicador Instantâneo: Ferramenta no estilo *Instant Messaging* que possibilita a comunicação por texto, áudio e vídeo entre participantes;
- Áudio Conferência 3D: Ferramenta possibilita a comunicação por voz, onde cada usuário pode escolher o formato de áudio 3D;
- Vídeos: Ferramenta que gerencia vídeos armazenados no Repositório ou em um servidor externo;
- *Youtube* Tidia: Ferramenta que permite buscar vídeos no *Youtube*;
- Sistema *Moodle*: Ferramenta que permite a integração com servidores do Sistema *Moodle*.

5.4 Desenvolvimento do curso EaD

5.4.1 Plataforma escolhida

O *MOODLE* foi a plataforma escolhida para desenvolver o curso. O que levou a essa escolha foram os seguintes elementos:

a) ser gratuito;
b) código aberto;
c) usado em universidades brasileiras de renome;
d) existir uma comunidade mundial que faz uso dessa plataforma;
e) usado no IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares;
f) fácil acesso.

5.4.2 Hospedagem do curso

O curso foi hospedado no servidor *web* MCO2, que executou toda a instalação da plataforma de ensino *MOODLE* versão 2.6.4. Pretende-se que o curso, no futuro, seja hospedado no servidor do IPEN. Para tanto, a versão do MOODLE instalada atualmente naquele servidor deverá ser atualizada.

5.4.3 Domínio do curso

O domínio é o endereço do *website:* www.*tnm-indices-de-miller.com/novo*.

5.4.4 *Home Page* do curso

A imagem abaixo (FIG.15) representa a *home page* do curso. É exibida logo após ser digitado o domínio do curso. O aluno deverá clicar no *link* cursos para ter acesso aos seus cursos.

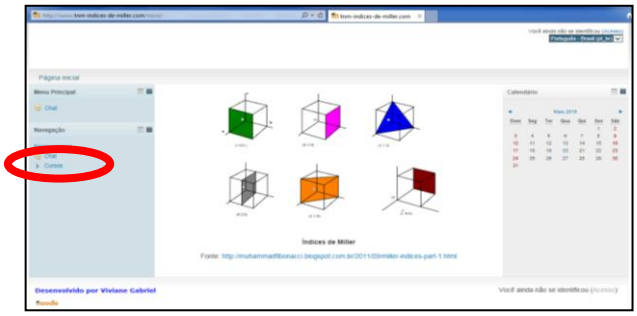


FIGURA 15 – Página principal do curso [57]

5.4.5 Acesso ao curso

A imagem abaixo (FIG.16) é exibida logo após o aluno ter clicado no *link* cursos. Após isso, É exibido o *link* para ter acesso ao curso Índices Cristalográficos de Miller: uma proposta em EaD e uma breve descrição do conteúdo do que será visto.

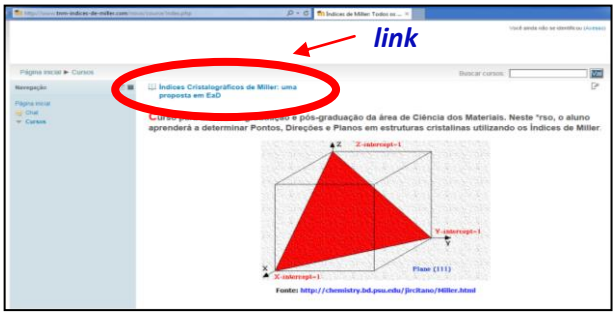


FIGURA 16 – Acesso ao curso [57]

5.4.6 Identificação

A FIG.17 é a imagem da tela de identificação no curso. O aluno deve digitar seu nome de usuário (*login*) e senha para identificação, fornecidos pelo administrador do curso.

FIGURA 17 – Tela de Identificação [57]

5.4.7 Página principal do curso

A FIG.18 é a imagem da tela da página principal do curso. No menu do lado esquerdo e na parte central há *links* para navegar por todos os tópicos do curso.

FIGURA 18 – Página principal do curso [57]

5.5.8 Divisão do curso

O curso é dividido em tópicos e subtópicos que contemplam os conhecimentos básicos que o aluno deve ter para iniciar o curso. São eles:

1. Introdução
2. Estruturas Cristalinas
   2.1 Células Unitárias
   2.2 Alguns Tipos de Estruturas Cristalinas.
   2.3 Sistemas Cristalinos
3. Pontos, Direções e Planos Cristalográficos.
4. Coordenadas dos Pontos
   4.1 Roteiro para traçar as coordenadas.
   4.2 Exercícios
5. Direções Cristalográficas
   5.1 Roteiro para traçar as direções.
   5.2 Exercícios
6. Planos Cristalográficos
   6.1 Exercícios
7. Pesquisa de avaliação do curso

5.5.9 Instruções gerais

A imagem abaixo (FIG.19) representa a tela de Instruções Gerais do curso. Nela o aluno tem informações para iniciar o curso.

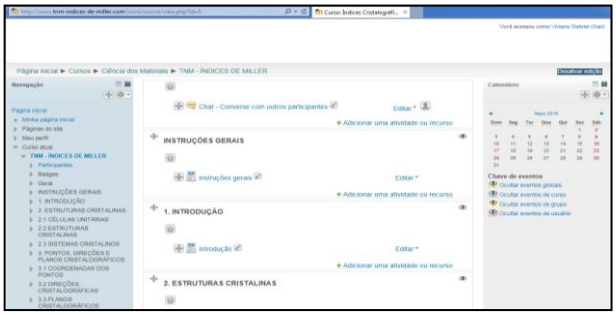


FIGURA 19 - Instruções Gerais [57]

5.5.10 Introdução

Neste tópico (FIG.20), o aluno é situado no contexto do curso [22,27,50,51].

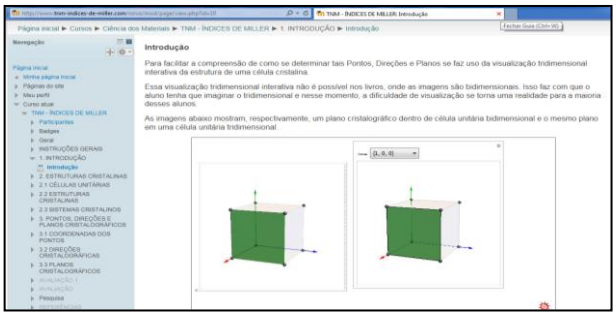


FIGURA 20 – Introdução ao curso [57]

5.5.11 Estruturas Cristalinas

Esse tópico é dividido em duas partes: a primeira responde à pergunta Por que estudar a estrutura dos sólidos cristalinos e a segunda define Estrutura Cristalina (FIG.21) [22,27,50,51].

FIGURA 21 – Estruturas Cristalinas [57]

5.5.12 Células Unitárias

Essa parte do curso define Células Unitárias (FIG.22) [22,27,50,51].

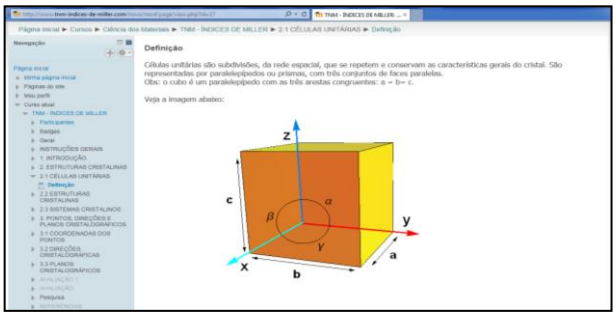


FIGURA 22 – Estrutura Cristalina CCC [57]

5.5.13 Alguns Tipos de Estruturas Cristalinas

Neste tópico do curso (FIG.23 e 24), são definidas as estruturas CFC e CCC. [22,27,50,51].

FIGURA 23 – Estrutura Cristalina CFC [57]

FIGURA 24 – Estrutura Cristalina CCC [57]

5.5.14 Os 7 Sistemas Cristalinos

Neste item são definidos Sistemas Cristalinos e Redes de Bravais (FIG.25 e 26) [22,27,50,51].

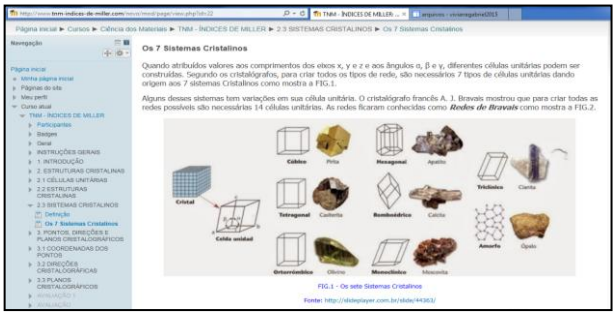


FIGURA 25 – Sistemas Cristalinos [57]

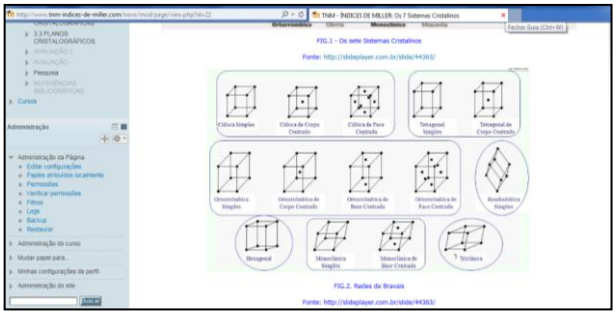


FIGURA 26 – Redes de Bravais [57]

5.5.15 Pontos, Direções e Planos Cristalográficos

Nesta parte do curso (FIG.27) há uma breve explicação de porque estudar os Índices de Miller [22,27,50,51].

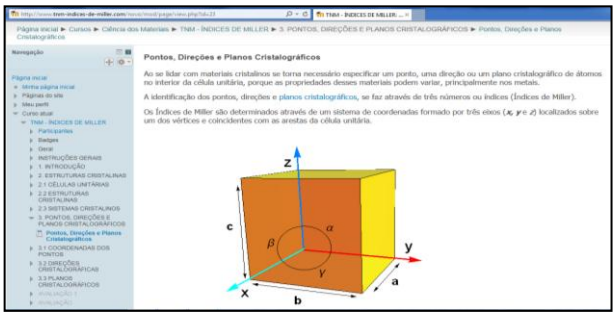


FIGURA 27 – Direções cristalográficas [57]

5.5.16 Coordenadas dos Pontos

Neste tópico (FIG.28) o aluno encontra a definição de coordenadas dos pontos, um exemplo explicativo interativo de como encontrar as coordenadas dos pontos da célula unitária, um exemplo explicativo interativo de como, a partir, do ponto encontrar a posição do átomo na célula unitária e um exercício [22,27,50,51].

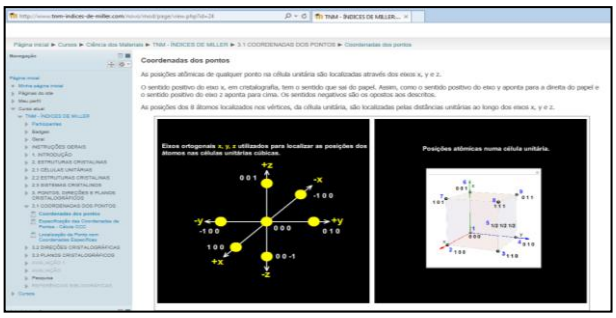


FIGURA 28 – Coordenadas dos Pontos [57]

5.5.16.1 Especificação das Coordenadas de Pontos - Célula CCC

As FIG.29 e 30 correspondem ao roteiro para encontrarmos os índices da direção assinalada no interior da célula unitária.

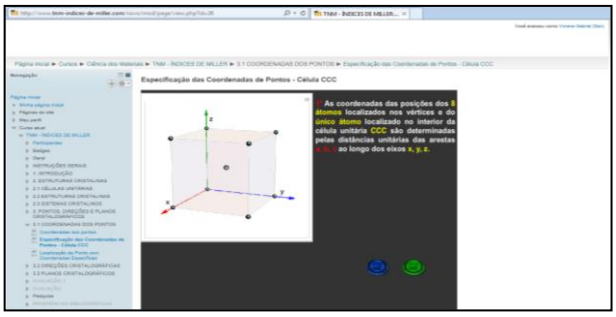


FIGURA 29 – Especificação das coordenadas dos pontos [57]

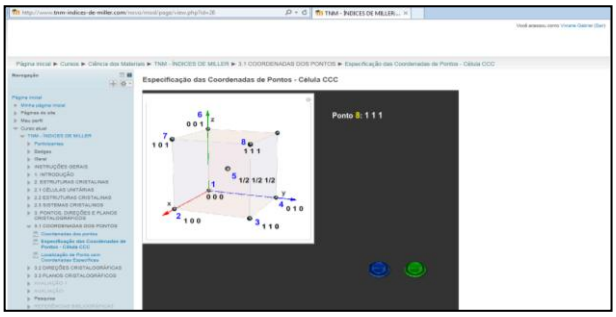


FIGURA 30 – Especificação das coordenadas dos pontos [57]

5.5.16.2 Localização de Ponto com Coordenadas Específicas

As imagens abaixo (FIG.31 a 33) correspondem ao roteiro para localizarmos a posição do ponto P com coordenadas ¼ ½ ½ no interior da célula unitária.

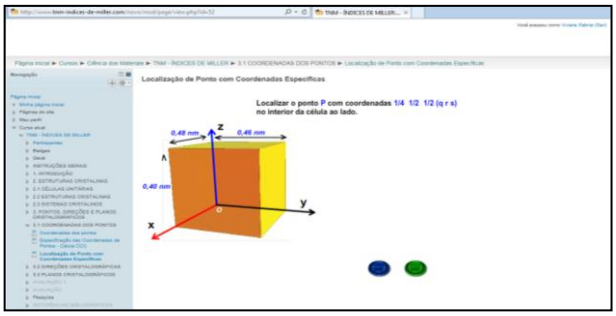


FIGURA 31 – Localizar o ponto P no inteiro da célula unitária [57]

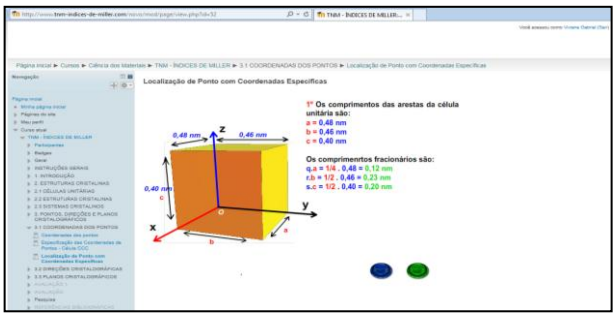


FIGURA 32 – Cálculo das coordenadas do ponto P [57]

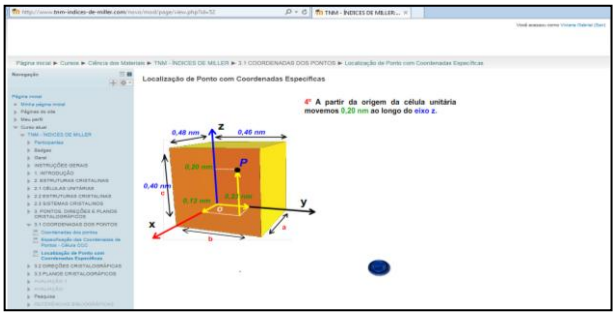


FIGURA 33 – Posição do ponto P no interior da célula unitária [57]

5.5.17 Direções Cristalográficas

Neste tópico (FIG.34) o aluno encontra um exemplo interativo, o roteiro para traçar algumas direções cristalográficas e exercícios [22,27,50,51].

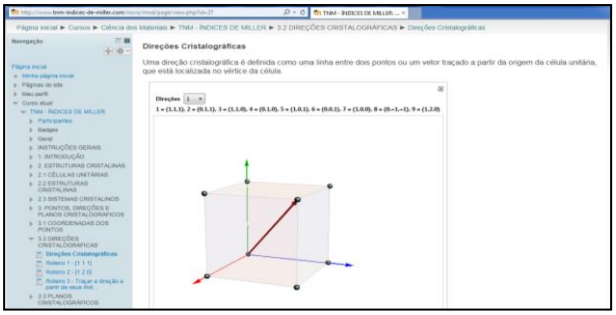
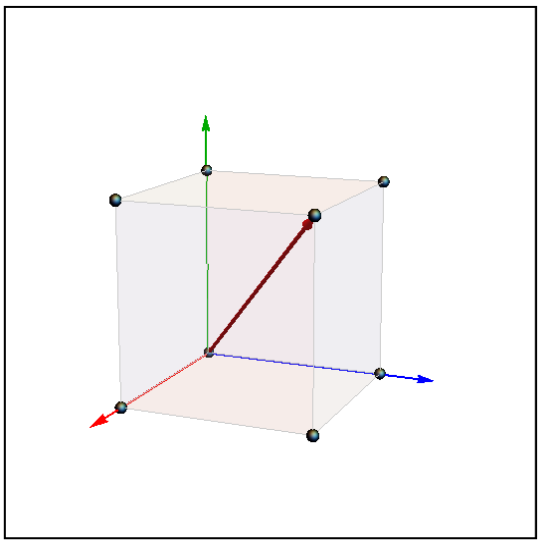


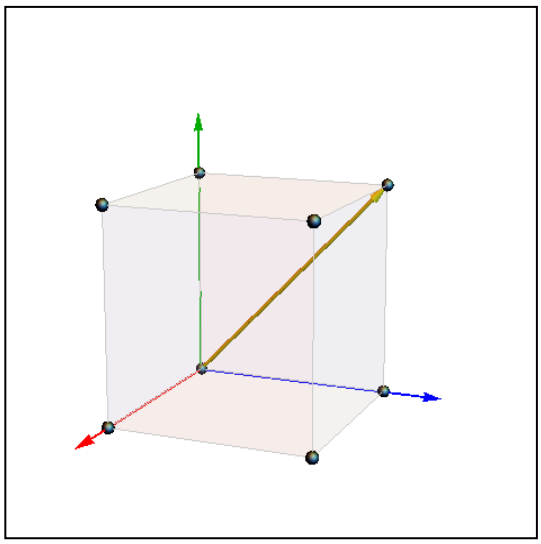
FIGURA 34 – Direções cristalográficas [57]

5.5.17.1 Exemplos Interativos

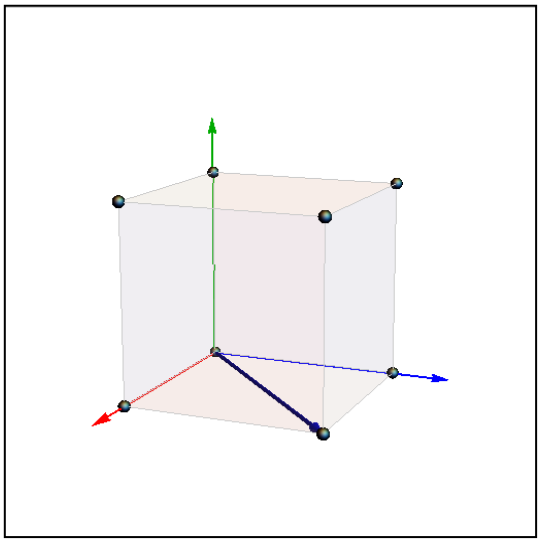
A figura abaixo ilustra alguns exemplos de direções cristalográficas apresentadas no curso.



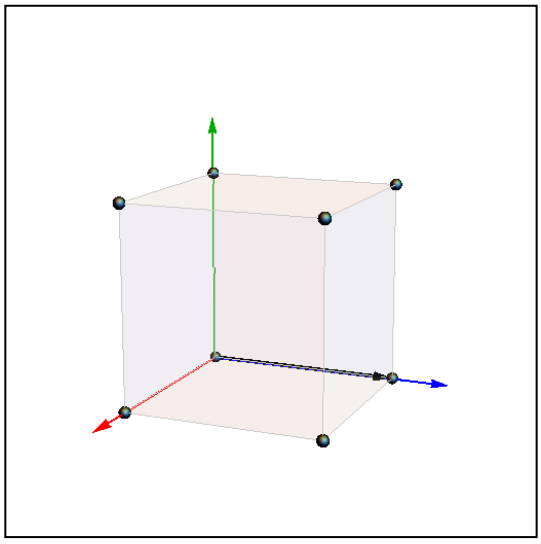
(a) Direção [111]



(b) Direção [011]



(c) Direção [110]



(d) Direção [010]

FIGURA 35 - Exemplos de direções cristalográficas [57]

5.5.17.2 Roteiro para as Direções

5.5.17.2.1 A partir do traço de uma direção encontrar seus índices.

As FIG.36 a 40 correspondem ao roteiro para encontrarmos os índices da direção assinalada no interior da célula unitária.

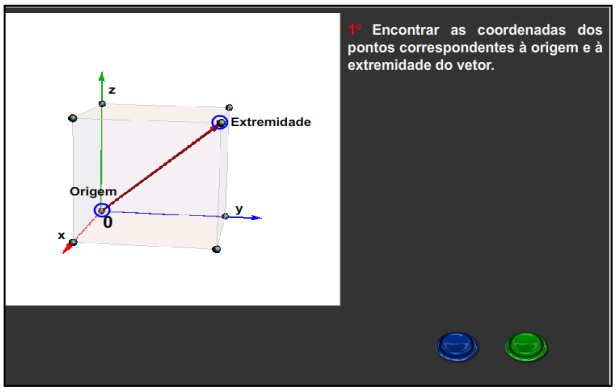


FIGURA 36 – Encontrar as coordenadas dos pontos [57]

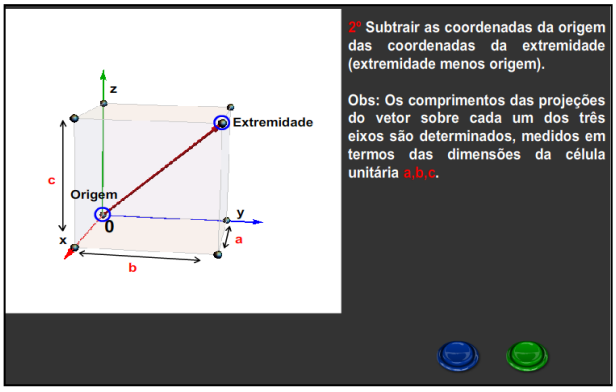


FIGURA 37 – Subtrair as coordenadas da origem das coordenadas da extremidade [57]

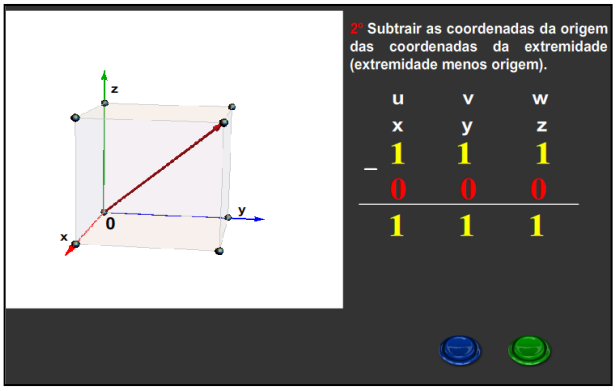


FIGURA 39 – Subtrair as coordenadas da origem das coordenadas da extremidade [57]

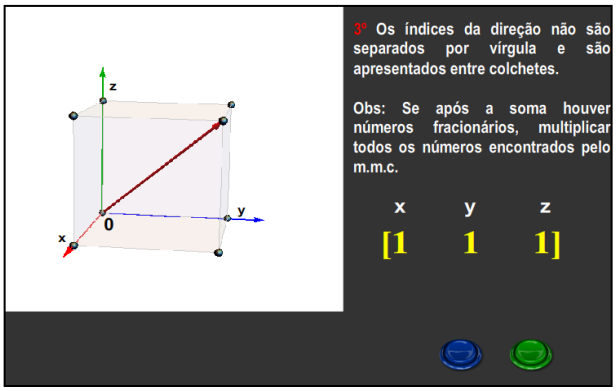


FIGURA 40 - Os índices encontrados são [111] - [57]

5.5.17.2.2 Traçar a direção a partir de seus índices

As FIG.41 a 43 correspondem ao roteiro para traçarmos o vetor que corresponde ao índice da direção solicitada.

FIGURA 41 – Índices da direção a ser traçada - [57]

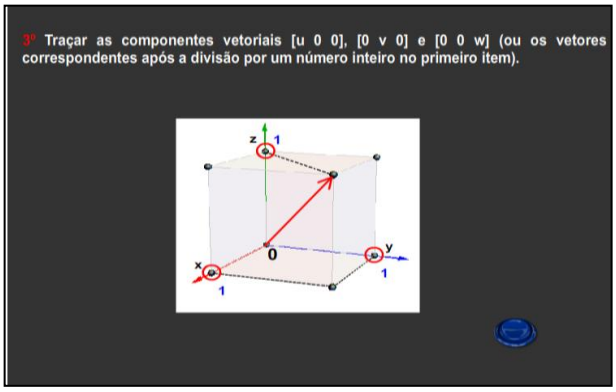


FIGURA 43 - Traçar as componentes vetoriais - [57]

5.5.18 Planos Cristalográficos

Neste tópico (FIG.44) o aluno encontra um exemplo interativo, o roteiro para traçar alguns planos cristalográficos e exercícios [22,27,50,51].

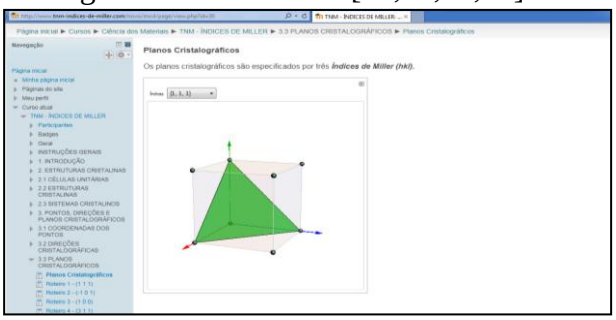
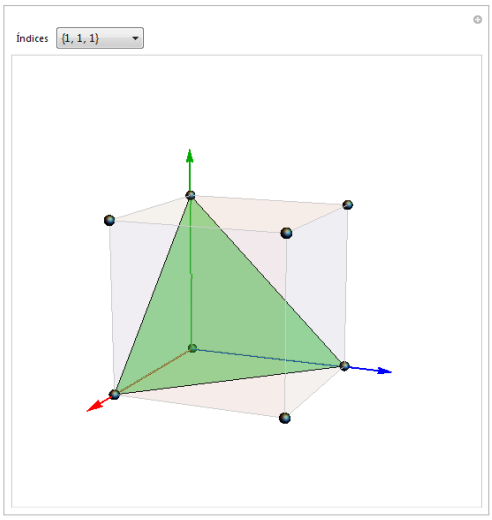


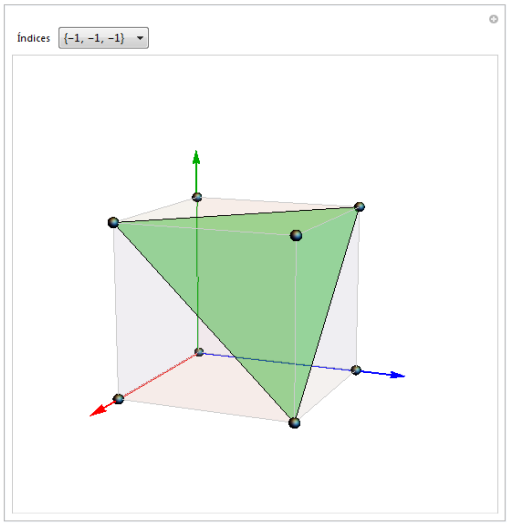
FIGURA 44 – Planos Cristalográficos [57]

5.5.18.1 Exemplos Interativos

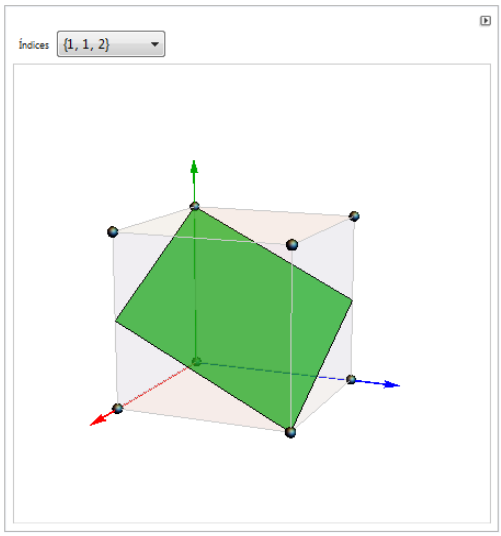
A figura abaixo ilustra alguns exemplos de planos cristalográficos apresentados no curso.



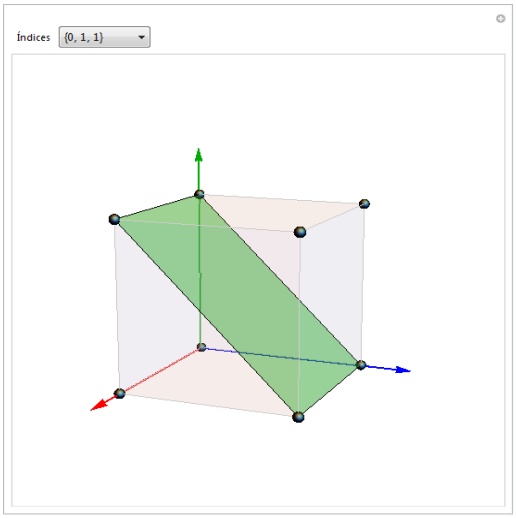
(a) Plano (111)



(b) Plano $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$



(c) Plano (112)



(d) Plano (011)

FIGURA 45 - Exemplos de planos cristalográficos [57]

5.5.18.2 Roteiro para os Planos

5.5.18.2.1 A partir do traço de um plano cristalográfico encontrar seus índices.

As FIG.46 a 54 correspondem ao roteiro para encontrarmos os índices do plano assinalado no interior da célula unitária.

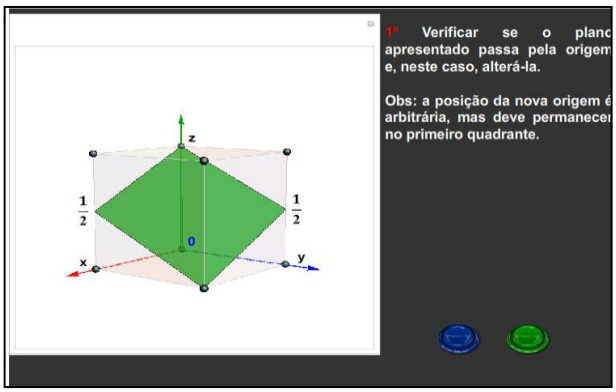


FIGURA 46 – Determinar os índices do plano [57]

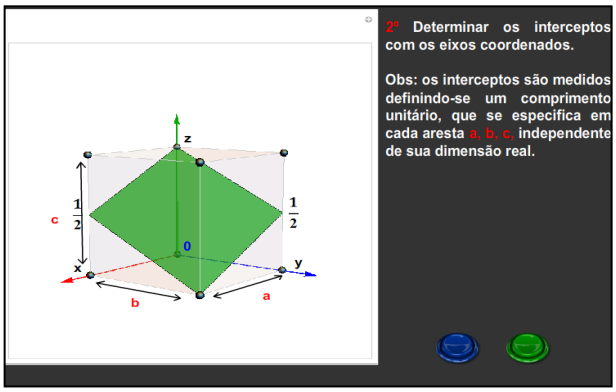


FIGURA 47 – Determinar os índices do plano [57]

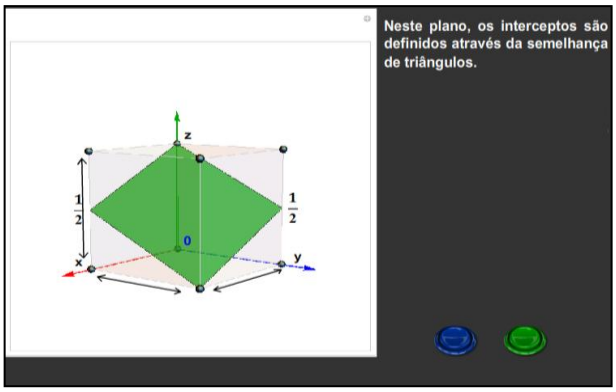


FIGURA 48 – Determinar os índices do plano [57]

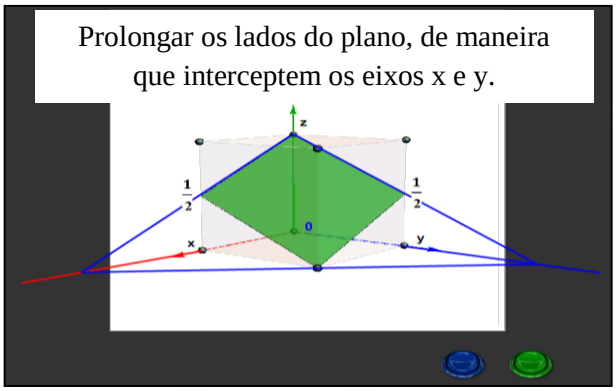


FIGURA 49 – Semelhança de triângulos [57]

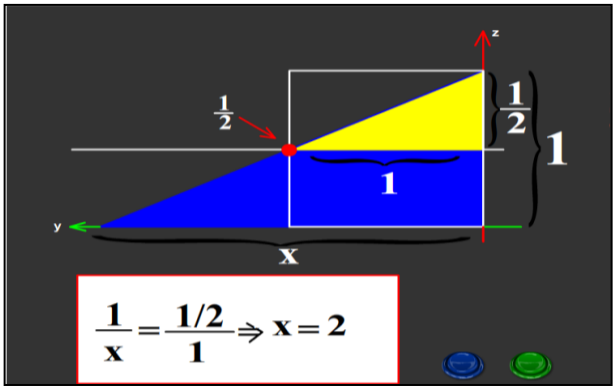


FIGURA 50 – Semelhança de triângulos [57]

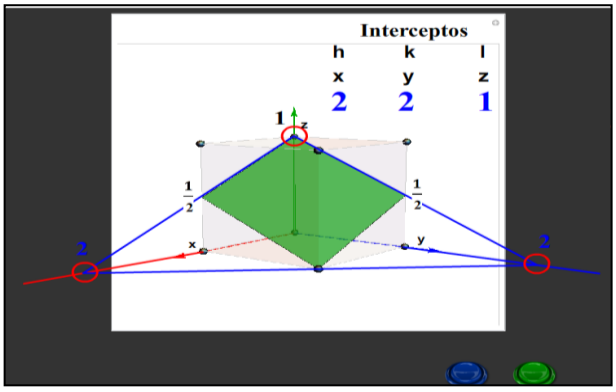


FIGURA 51 – Localizar os interceptos [57]

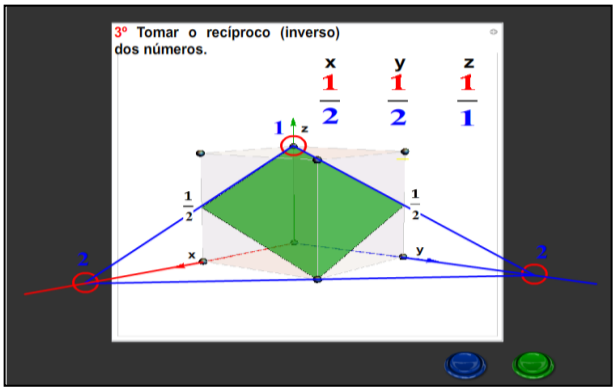


FIGURA 52 – Recíproco dos números [57]

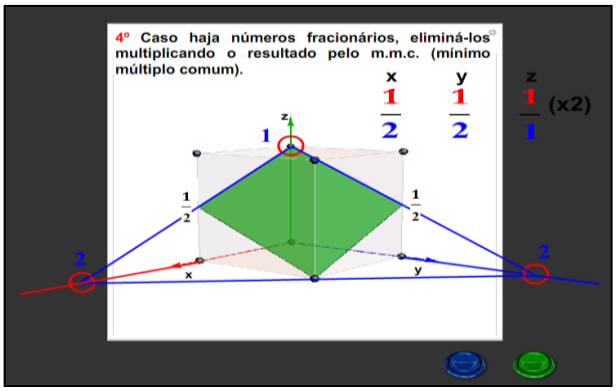


FIGURA 53 - Reduzir os números fracionários [57]

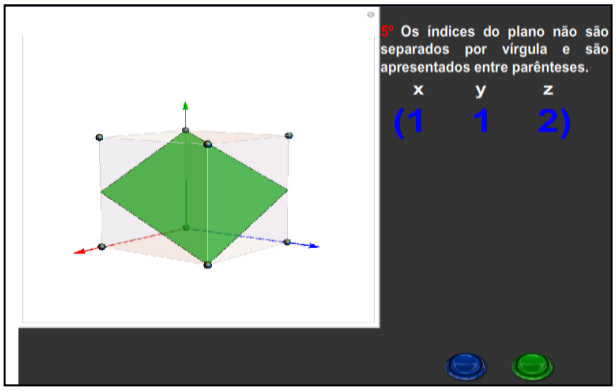


FIGURA 54 – Índices do plano [57]

5.5.18.2.2 Traçar o plano a partir de seus índices

As FIG. 55 a 58 correspondem ao roteiro para traçarmos o plano a partir de seus índices.

FIGURA 55 – Índices do plano [57]

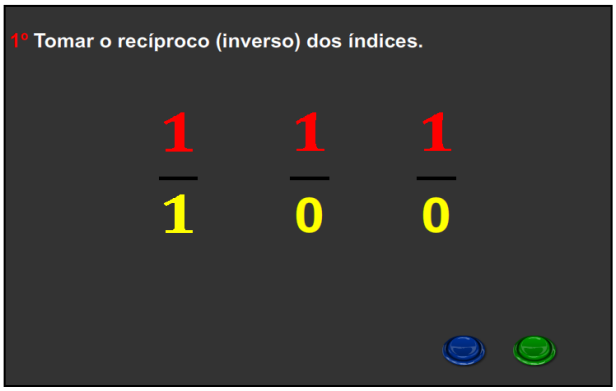


FIGURA 56 – Recíproco dos índices [57]

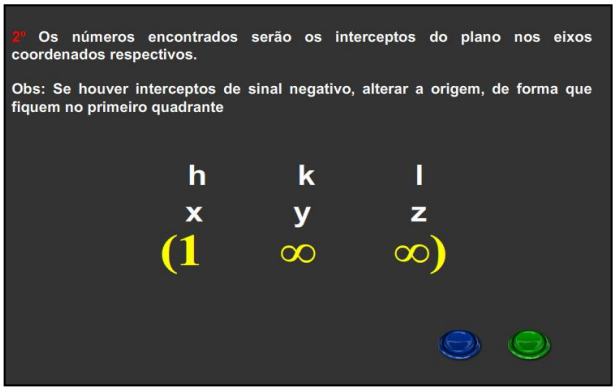


FIGURA 57 – Interceptos do plano [57]

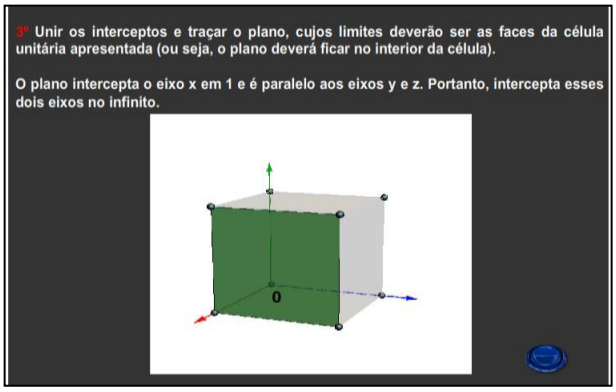


FIGURA 58 – Plano (100) [57]

5.5.19 Pesquisa de avaliação do curso

Ao final do curso, o aluno responderá a uma pesquisa para avaliar o curso, conforme a FIG.59 abaixo:

FIGURA 59 – Pesquisa de avaliação do curso [57]

6 CONCLUSÕES

Foi elaborado um curso de Educação a Distância com a temática proposta neste trabalho, a partir da plataforma *Moodle*, acessível a alunos de graduação e pós-graduação do IPEN.

O curso foi estruturado de modo que o aluno possa compreender como determinar os índices de pontos, direções e planos cristalográficos a partir da indicação ou traço destes elementos em uma célula cúbica. O caminho inverso, ou seja, localizar pontos e traçar direções e planos a partir dos seus índices também foi contemplado.

As imagens para a visualização tridimensional interativa, componentes fundamentais desse trabalho, foram desenvolvidas no programa *Wolfram Mathematica* 10.1. Os roteiros para determinar pontos, direções e planos cristalográficos foram elaborados com o auxílio do programa *Adobe Macromedia Flash 8.0* e as outras imagens que ilustram o curso foram criadas no programa *Solid Works*. Espera-se que a possibilidade de interação com as representações tridimensionais possa auxiliar aqueles que possuem dificuldades de visualização espacial.

O código de programação das representações tridimensionais interativas, pode ser implementado para outros planos e direções.

Ao final do curso há um questionário sobre sua estrutura e compreensão dos conceitos teóricos disponibilizados, para que se possa aprimorá-lo. Esse questionário deverá ser respondido pelos próprios alunos que farão o curso.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para o aprimoramento do curso, sugerimos algumas implementações que estão descritas abaixo:

1. Ampliar o curso de forma a abordar outros sistemas cristalinos, como o hexagonal, e também adicionando outros planos e direções à base de dados do curso;

2. Utilizar um outro programa com mais recursos de renderização, de modo que as representações tridimensionais adquiram um aspecto mais realista e melhorem a experiência virtual e interatividade do aluno;

3. Introduzir vídeos sobre a cristalografia moderna;

4. Elaborar uma avaliação final *on-line*, que abranja todo o conteúdo do curso;

5. Possibilitar a emissão de um certificado de conclusão do curso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] OLIVEIRA, E.G. ***Educação a Distância na transição pragmática.*** Campinas: Papirus, 2003. cap. 1, Uma rede teórico-metodológica dos novos tempos , espaços e paradigmas. p. 35.

[2] MORAN, J.M. ***O que é educação a distância***. Rio de Janeiro: SENAI, ano 1, n.5, out-dez. 1994, p. 1-3. Disponível em: <http://migre.me/k9L3k>. Acesso em: 14 mai. 2014.

[3] GONZALEZ, M. ***Fundamentos da Tutoria em Educação a Distância***. São Paulo: Avercamp, 2005. cap. 1, Conhecendo Políticas de EaD no Brasil. p. 25.; cap. 2, Perspectivas Históricas da EaD. p. 33.

[4] CHERMANN, M.; BONINI, L.M. ***Educação a Distância: Novas Tecnologias em ambientes de aprendizagem pela Internet.*** São Paulo: Universidade Braz Cubas, 2000. cap. 1, O que é Educação a Distância? p. 17-25; cap. 2, Modelo Teórico de Aprendizagem. p. 35-37.

[5] KLEIN, C.; DUTROW, B. ***Manual de Ciência dos Minerais.*** Porto Alegre: Bookman, 2008. Introdução. p. 38.

[6] CPRM Serviço Geológico do Brasil. ***Cristais***. Brasília, 2009. Disponível em: <http://migre.me/pxHaT>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[7] RICHARDSON, G.F. ***Geology for beginners: comprising a familiar explanation of geology, and its associate sciences***. London: Henry G. Bohn, 1846. p. 152.

[8] CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. ***Early historical notes about crystals and crystallography.*** Disponível em: <http://migre.me/q8aCu>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[9] KLEIN, C., HURLBUT JÚNIOR, C.S. ***Manual de Mineralogía***. Barcelona: Reverté, 2006. Introducción. p. 4.

[10] CALEY, E.R.; RICHARDS, J.F.C. ***Theophrastus: on stones.*** Columbus, 1956.

[11] BERNARDÉZ GÓMEZ, M.J.; GUISADO di MONTI, J.C., ***Investigaciones Arqueológicas en Castilla-La* Mancha 1996-2002, 2003.** p. 245-256.

[12] Proyecto "Cien Mil Pasos Alredor de Segóbriga" ***El Lapis Specularis: Definición del material y sus características, así como sus aplicaciones en época romana***, 2012. Disponível em: <http://migre.me/pzgTF>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[13] AGRICOLA, G. Agricola ***De Natura Fossilium***: ***Textbook of Mineralogy***. New York: Dover Phoenix Editions, 2004. Book V, p. 92.

[14] GIL, P.O. ***Administración de la provincia Hispania citerior durante el Alto Imperio Romano***. Barcelona: Gráficas Rey, 2013. Evolución Histórica del Territorio, p.31

[15] LIMA-DE-FARIA, J. ***Alguns aspectos da História da Cristalografia***. Disponível em: <http://migre.me/pyrJv>. Acesso em 08 abr. 2015.

[16] ZOIA, L.A. ***Simulando Alocação de esferas.*** IMECC. Disponível em: <http://migre.me/pzh03>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[17] Flocos de neve vistos no microscópio**. Galileu,** [sd]**.** Disponível em: <http://migre.me/pyykI>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[18] AUTHIER, A. ***Early Days of X-ray Crystallography***. United Kingdom: Oxford, 2013. The Birth and Rise of the space-lattice concept. p. 318-319

[19] HAMMOND, C. ***The Basics of Crystallography and Diffraction***. New York, NY: Oxford, 2003. Appendix 3, p. 275.

[20] GRAEF, M. de; McHENRY, M.E. ***Structures of Materials An Introduction to Crystallography, Diffraction and Symmetry.*** New York, NY: Cambridge, 2007. cap. 3, What is a crystal structure, The space lattice, p. 59.

[21] MARTÍNEZ RIPOLL, M. Departamento de Cristalografía y Biología Estructural, 28 jan. 2014. Disponível em: <http://goo.gl/ZvJS01>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[22] KITTEL, C.; ***Introdução à Física do Estado Sólido*.** Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978. cap.1, Estrutura Cristalina. p. 3-18.

[23] IYCr2014 ***Cristalografia e aplicações no íntimo da matéria***. Disponível em: <http://migre.me/pohkQ>. Acesso em 08 abr. 2015

[24] TORRIANI, I.L. ***Cristalografia: uma ciência multidisciplinar* .** Ciência e Cultura vol.66 n.3. São Paulo, set. 2014. Disponível em: <http://migre.me/pzh7U>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[25] BURKE, J.G. ***Origins of the Science of Crystals***. California, CA: University of California, 1966. cap.1, Introdução. p. 1.

[26] KORNBERG, A. ***Biographical Encyclopedia of Scientists***. 2.ed. v.1, p. 473.

[27] CALLISTER JÚNIOR, W. D. ***Ciência de Materiais Uma Introdução.*** Rio de Janeiro: LTC, 2008. cap. 3, A estrutura dos Sólidos Cristalinos. p. 29-43.

[28] McCORMICK, B.H.; DeFANTI, T.A.;BROWN, M.D. Computer Graphics ***Visualization in Scientific Computing.*** New York, NY: ACM SIGGRAPH, nov. 1987. v.21, n.6. p. 13.

[29] AMARAL, S. R. ***Estratégia para o Ensino de Ciências: Modelos Tridimensionais – Uma Nova Abordagem no Ensino do Conceito***. Bandeirantes, 2010. Disponível em: <http://migre.me/lLv7z>. Acesso em: 19 set. 2014.

[30] PAIVA, V.M. ***Ambientes virtuais de aprendizagem: implicações epistemológicas***. Educação em Revista, v. 26, n. 3. Belo Horizonte, dez. 2010. Disponível em: <http://migre.me/muCM7>. Acesso em: 19 set. 2014.

[31] TORI, R. ***Educação sem distância – As tecnologias interativas na redução de distâncias em ensino e aprendizagem***. São Paulo: Senac, 2010. cap. 9, Sistemas de gerenciamento de Conteúdo e Aprendizagem. p. 129-148.

[32] BEHAR, P. A. ***Modelos Pedagógicos em Educação a Distância***. Porto Alegre: Armed, 2009. p. 29.

_____ ***Competências em Educação a Distância.*** Porto Alegre: Penso, 2006. p. 59.

[33] SIMÃO NETO, A. ***Cenários e Modalidades de Ead.*** Curitiba: IESDE BRASIL SA, 2008. p.124.

[34] MULLER, C.C. ***EAD nas organizações***. Curitiba: IESDE BRASIL SA, 2009. p. 54.

[35] MCO2 - Hospedagem Inteligente. Disponível em: <https://www.mco2.com.br>. Acesso em: 19 set. 2014.

[36] AMADEUS. Página on-line do projeto disponível em: <http://migre.me/jdIzN>. Acesso em: 17 set. 2014.

[37] MOODLE. Página on-line do projeto disponível em: <http://migre.me/q7MdI>. Acesso em: 18 maio 2014

[38] TELEDUC. Página on-line do projeto disponível em: <http://www.teleduc.org.br/>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[39] TIDIA-Ae. Página on-line do projeto disponível em: <http://www.tidia-ae.usp.br/portal>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[40] UFMG. Página on-line do projeto disponível em: <www.ufmg.br>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[41] UEMG. Página on-line do projeto disponível em: <www.uemg.br>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[42] UFPR. Página on-line do projeto disponível em: <http://www.ufpr.br/portalufpr/educacao-a-distancia-ead/>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[43] UFRGS. Página on-line do projeto disponível em: <https://moodle.ufrgs.br/login/index.php>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[44] UERGS. Página on-line do projeto disponível em: <http://migre.me/kb3Vq>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[45] UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC. Página on-line do projeto disponível em: <http://tidia-ae.ufabc.edu.br/portal>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[46] UNICAMP. Página on-line do projeto disponível em: <http://migre.me/kb3hE>. Acesso em: 29 jun. 2014.

_____ Página on-line do projeto disponível em: <http://www.ggte.unicamp.br/moodle/>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[47] UFSCAR. Página on-line do projeto disponível em: <http://www.moodle.ufscar.br/>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[48] UNIFESP. Página on-line do projeto disponível em: <http://moodle.unifesp.br/graduacao/>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[49] UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI. Página on-line do projeto disponível em: <http://migre.me/kb3sr>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[50] SMITH, W.F.; HASHEMI, J. ***Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais.*** São Paulo: McGraW-Hill, 2012. cap. 3, Estrutura Cristalina e Amorfa nos metais. p. 59-73.

[51] VAN VLACK, L. H.; ***Princípios de Ciência dos Materiais.*** São Paulo: Edgard Blücher, 1970. cap. 3, Arranjos Atômicos. p. 51-64.

[52] SILVA, P. ***Redes de Bravais.*** Disponível em: <http://migre.me/q9cvw>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[53] Mineralogia e Química do Solo ***Eixos cristalográficos, parâmetros e constatntes crsitalográficas.*** maio, 2014. Disponível em: <http://migre.me/q9cCc>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[54] MARTINS, L. ***Alotopria***. Disponível em: <http://migre.me/q9cIR >. Acesso em 08 abr. 2015.

[55] IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Página on-line do projeto disponível em: <http://www.ipen.br/portal_por/portal/default.php>. Acesso em: 29 jun. 2014.

[56] Universidade Federal do ABC ***TIDI-AE*** Disponível em: <http://migre.me/q9dnC>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[57] Índices cristalográficos de Miller: uma proposta em educação a distância. Página do on-line do curso: <http://www.tnm-indices-de-miller.com/novo>. Acesso em: 08 abr. 2015.

[58] RAMOS, C. da S. ***Visualização Cartográfica e Cartografia Multimídia Conceitos e tecnologias.***UNESP, 2003. p. 34 <http://migre.me/q9dAd>. Acesso em: 10 abr. 2015.

[59] MOODLE HQ Disponível em: <https://moodle.org/>. Acesso em: 18 maio 2014.