

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE
MARINGÁ
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física



TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

Ferramentas Didáticas e a Aprendizagem sobre Ondas Eletromagnéticas e a Polarização da Luz

***Produto desenvolvido por: Maria Aparecida da Conceição dos Santos
Texto de apoio orientado pelo Prof. Dr. Ronaldo Celso Viscovini***

Apresentação

Caro Professor!

Este texto de apoio ao professor de Física consiste em uma sequência didática que pode ser utilizada como público alvo alunos do terceiro ano do ensino médio, tendo como sugestão ministrar em quatro horas/aulas de cinquenta minutos cada, sobre o conteúdo de ondas eletromagnéticas e polarização da Luz.

Neste material é apresentado uma sequência didática, com o uso do software Mathematica®, na produção de imagens animadas para simular ondas eletromagnéticas propagando, atravessando polarizadores e meios opticamente ativos. É apresentada também observações com filtros polarizadores nos quais os alunos podem acompanhar e testar as animações; um monitor de cristal líquido (LCD) que teve seu polarizador de saída retirado e um experimento com solução opticamente ativa de sacarose. As propostas didáticas disponibilizadas neste texto de apoio, foram aplicadas em uma turma do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública do noroeste de estado da Paraná, durante quatro aulas, em dois dias letivos.

Para tanto este material tem como objetivo disponibilizar ferramentas didáticas para o ensino de física no conteúdo de onda eletromagnética e polarização da luz que possam contribuir para professores do ensino médio e ensino superior de física. Pretende-se com a utilização dessas simulações e com o acréscimo do manuseio de filtros polarizadores, visualização de aplicações do cotidiano (monitor de cristal líquido - LCD) do aluno sobre o conteúdo, e também com o auxílio do experimento da solução opticamente ativa de sacarose, criar um clima harmonioso de interação e curiosidade, levando o aprendiz ao encanto da descoberta e à felicidade em aprender.

Sumário

1. Introdução	4
2. ROTEIRO PARA CRIAÇÃO DE IMAGENS ANIMADAS (GIF) COM O MATHEMATICA®	6
2.1. Simulando a Propagação da Luz não Polarizada	7
2.2. Simulando a Luz Passando por Um Polarizador	14
2.3. Simulando a Luz Passando por Dois Polarizadores	20
2.4. Simulando a Luz Passando por Três Polarizadores	27
2.5. Simulando a Luz Passando por Polarizadores e Meio Ativo Óptico.	31
3. SEQUENCIA DIDÁTICA	39
3.1. Aula 01: Noções Básicas de Ondas Eletromagnéticas e Polarização.....	39
3.2. Aula 02: Aplicações e Experimentos com Polarização e Polarizadores	47
4. ROTEIRO EXPERIMENTAL	54
4.1. Experimento de Polarização da Luz / Polarizador	54
4.2. Experimento de Mudança da Polarização da Luz pela Sacarose	55
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	58

1. Introdução

Para representar uma onda eletromagnética (luz) propagando costuma-se mostrar uma “foto instantânea” dos vetores dos seus campos (elétricos e magnéticos) variando perpendicularmente ao seu eixo de propagação (Figura 1.1). Esta imagem ilustra uma onda luminosa polarizada linearmente.

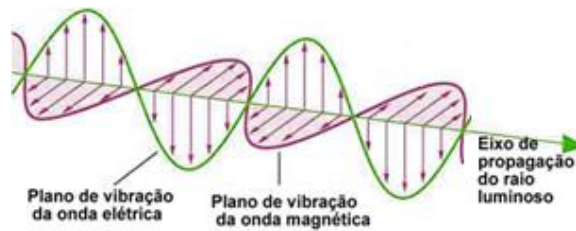


Figura 1.1 - Representação uma onda eletromagnética (luz) propagando [1].

Representar uma onda luminosa não polarizada é mais difícil, pois seus campos (elétricos e magnéticos) não estão restritos a planos determinados de vibração. Estes campos podem oscilar em qualquer direção. Para explicitar esta característica, costuma-se representar uma luz não polarizada como sendo a superposição de diversos vetores de um dos seus campos (elétrico ou magnético), com diferentes direções (Figura 1.2a). Uma imagem mais realista tenta representar os campos variando conforme o eixo de propagação (Figura 1.2b), o que complica muito a visualização, considerando que estes campos estão variando em intensidade e direção também no tempo.



Figura 1.2 - Representações de uma onda luminosa não polarizada [1].

A representação da luz não polarizada como uma somatória de diferentes direções possíveis do campo é muito utilizada nas aulas sobre polarização e polarizadores ópticos (Figura 1.3).

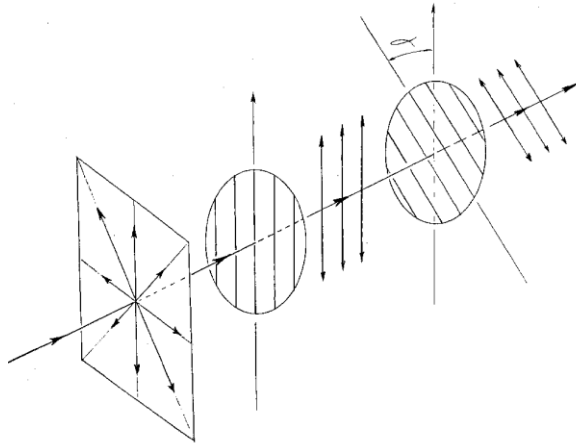


Figura 1.3 - Representação da luz não polarizada, de polarizadores e da luz polarizada [2].

Filmes (imagens animadas) do campo dinamicamente variando podem representar mais realisticamente as ondas eletromagnéticas (polarizadas ou não polarizadas), melhorando sua visualização.

2. ROTEIRO PARA CRIAÇÃO DE IMAGENS ANIMADAS (GIF) COM O MATHEMATICA®

As animações e simulações são importantes ferramentas didáticas para o ensino da física [3]. Usadas com critério, elas podem auxiliar na visualização e compreensão de fenômenos físicos complexos [1].

Mas, assim como nos desenhos animados, as simulações muitas vezes carecem de um “realismo” físico-matemática que a aproximem do fenômeno simulado. Artifícios criativos e artísticos que podem melhorar a aparência de uma animação podem deturpar a física. Um ser vivo não começa a cair somente quando percebe que está acima do chão. Por isso é importante para as animações didáticas tentar manter-se o mais fiel possível as características da física que pretendem ensinar. No caso específico da representação da luz como uma oscilação eletromagnética propagando, com seus campos elétricos e magnéticos variando no espaço e tempo, isto é um desafio.

Diversos softwares podem ser utilizados para criação de vídeos ou imagens animadas, cujo resultado geralmente depende muito da criatividade e capacidade artística dos autores.

O software Mathematica® permite a criação de gráficos e imagens em duas ou três dimensões, cuja visualização é bastante precisa e realista [4,5]. Este software também possui o recurso de sequenciar imagens para formar vídeos e imagens animadas.

Neste trabalho é apresentado o uso do Mathematica para produção de imagens animadas para simular ondas eletromagnéticas propagando, atravessando polarizadores e meios opticamente ativos. As imagens são no formato GIF (*Graphics Interchange Format*), que se notabiliza pela facilidade de inclusão em softwares de apresentação, como o PowerPoint®, ou em navegadores de internet, como Explorer® ou Chrome®.

O Mathematica® tem um conjunto de inúmeras funções gráficas, sendo que neste trabalho são utilizadas:

Graphics3D: Cria uma imagem tridimensional a partir de elementos básicos, como tubos e setas. Esta função possui diversos parâmetros de configuração, sendo utilizado o **PlotRange** (valores mínimos e máximos dos eixos x, y, z) e **ImageSize** (resolução da imagem em pixel).

Tube: Gera um elemento básico na forma de um tubo. Para que isso ocorra deve ser informada a posição do centro das duas extremidades (x, y, z) e o raio de tubo.

Arrow: Quando usado junto com o **Tube** gera uma seta na sua extremidade.

Arrowheads: Especifica o tamanho e o comprimento relativos das setas a serem geradas pelo **Arrow**.

Export: Permite exportar para um arquivo uma lista de dados. O tipo de arquivo é explicitado na extensão do nome do arquivo. Com relação ao que trazemos neste momento a extensão do arquivo deve ser *Gif* e a lista é de imagens.

A seguir trazemos um exemplo em que se tem o código, que cria um arquivo com uma imagem simples, mostrada na Figura 2.1.

```
Setas=Graphics3D[{Gray,  
  Tube[{{0,-.9,0},{0,.9,0}},.05],  
  Arrowheads[{{.1,1}}],  
  Arrow[  
    Tube[{{0,0,-.9},{0,0,.9}},.05]],  
  PlotRange->{{-.2,.2},{-1,1},{-1,1}},  
  ImageSize->1000]  
Export["Setas.gif",Setas]
```

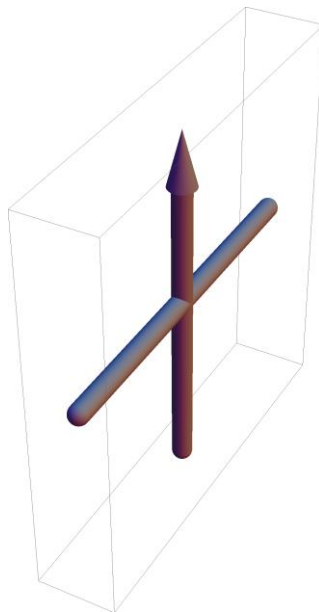


Figura 2.1 - Tubo e seta para simulação do vetor campo elétrico ou magnético.

2.1. Simulando a Propagação da Luz não Polarizada

Para criar a simulação da propagação da luz não polarizada inicialmente é definida uma função de Campo que desenha uma seta/vetor numa determinada posição (P_{OS}),

amplitude (Amp) e ângulo (Ang). Para melhorar a visualização, quando a amplitude for menor que 10% o vetor não vai ter seta de direção.

```
Campo[Pos_,Ampl_,Ang_] :=
  If[Abs[Ampl]>0.1,
    Arrow[Tube[Ampl*
      {{0,-Sin[Ang],-Cos[Ang]},
      {0,+Sin[Ang],+Cos[Ang]}}+
      {{Pos,0,0},{Pos,0,0}},.025]],
    Tube[Ampl*
      {{0,-Sin[Ang],-Cos[Ang]},
      {0,+Sin[Ang],+Cos[Ang]}}+
      {{Pos,0,0},{Pos,0,0}},.025]];
```

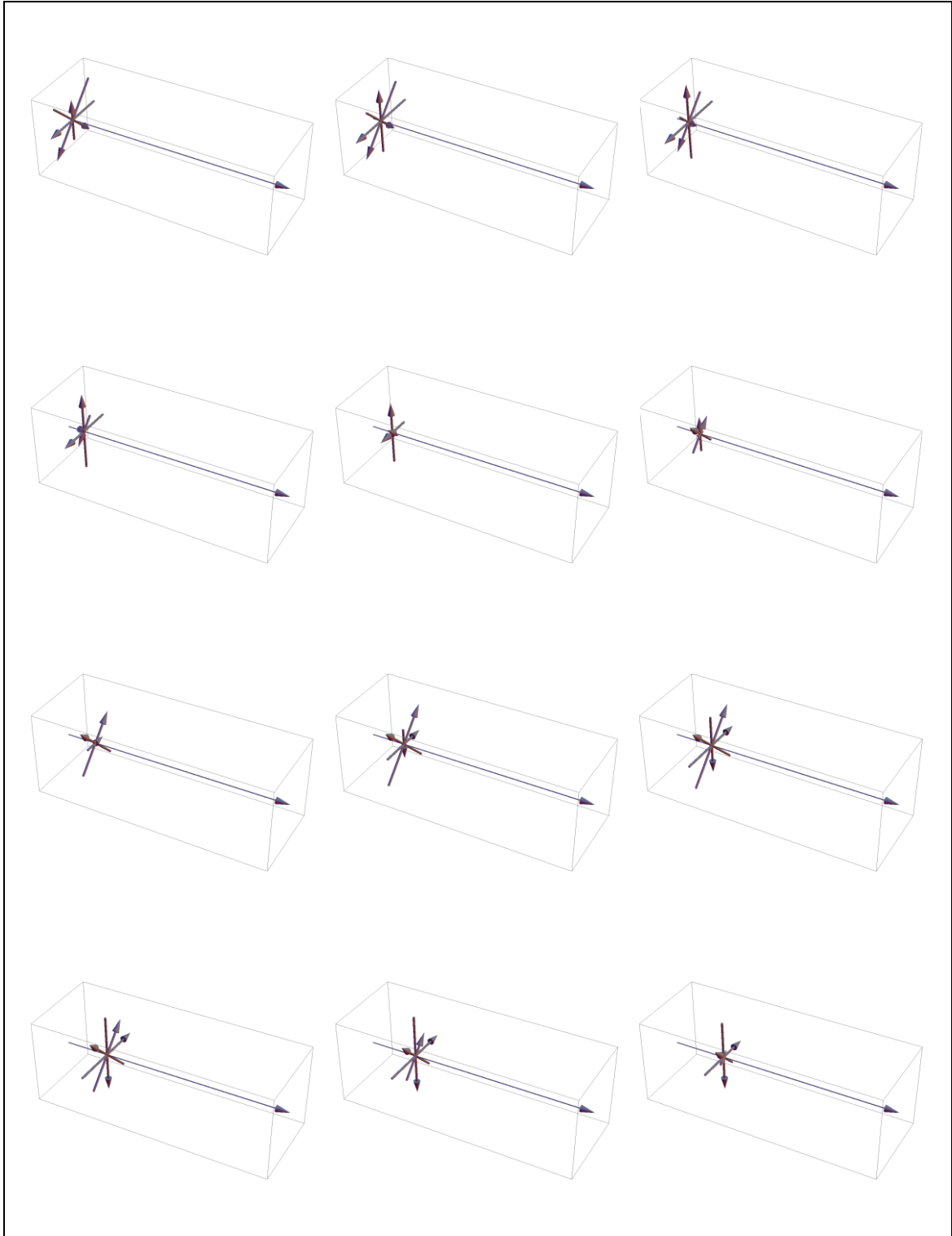
Definem-se aleatoriamente valores de fase (Fase) e velocidade angular (W) para quatro vetores de campo:

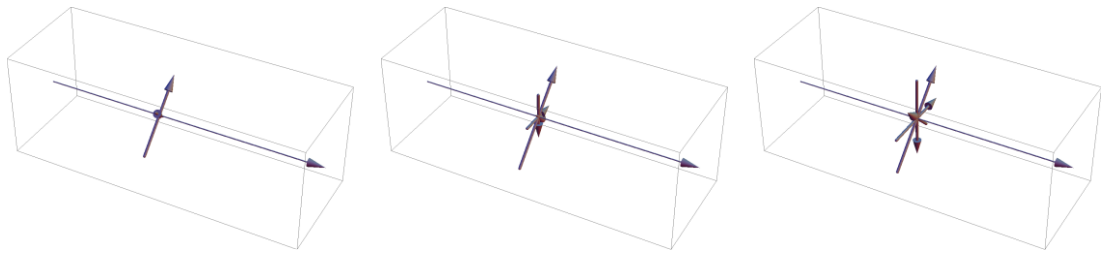
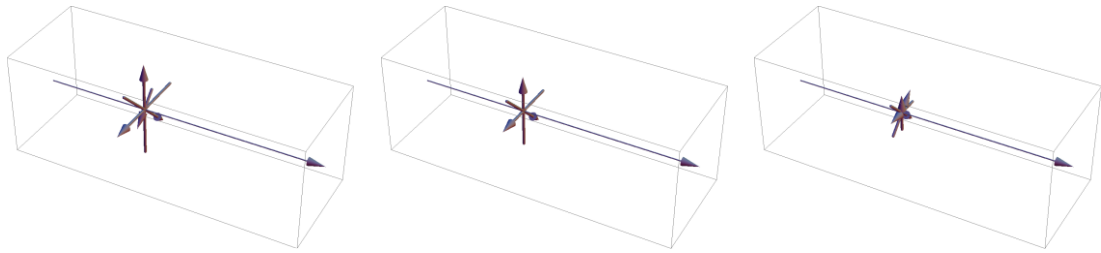
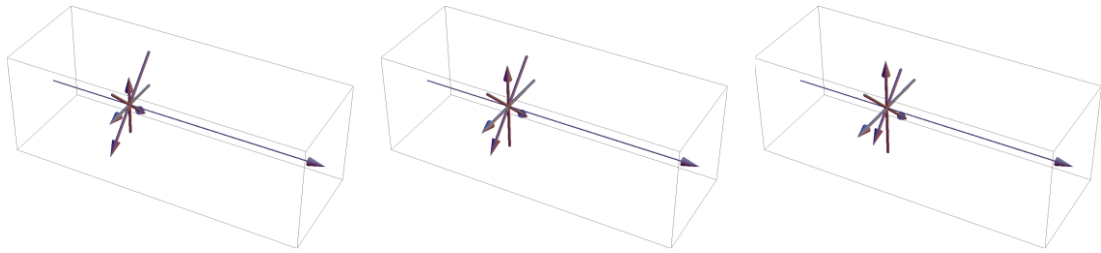
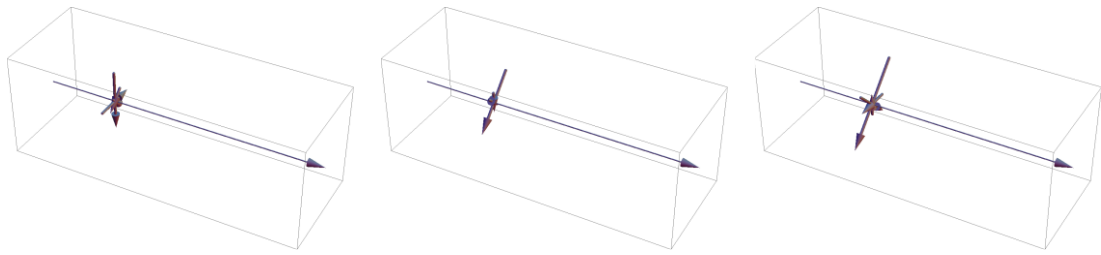
```
For[i=1,i<=4,i++,{
  W[i]=RandomReal[{{15Degree,30Degree}},
  Fase[i]=RandomReal[360Degree]}}];
```

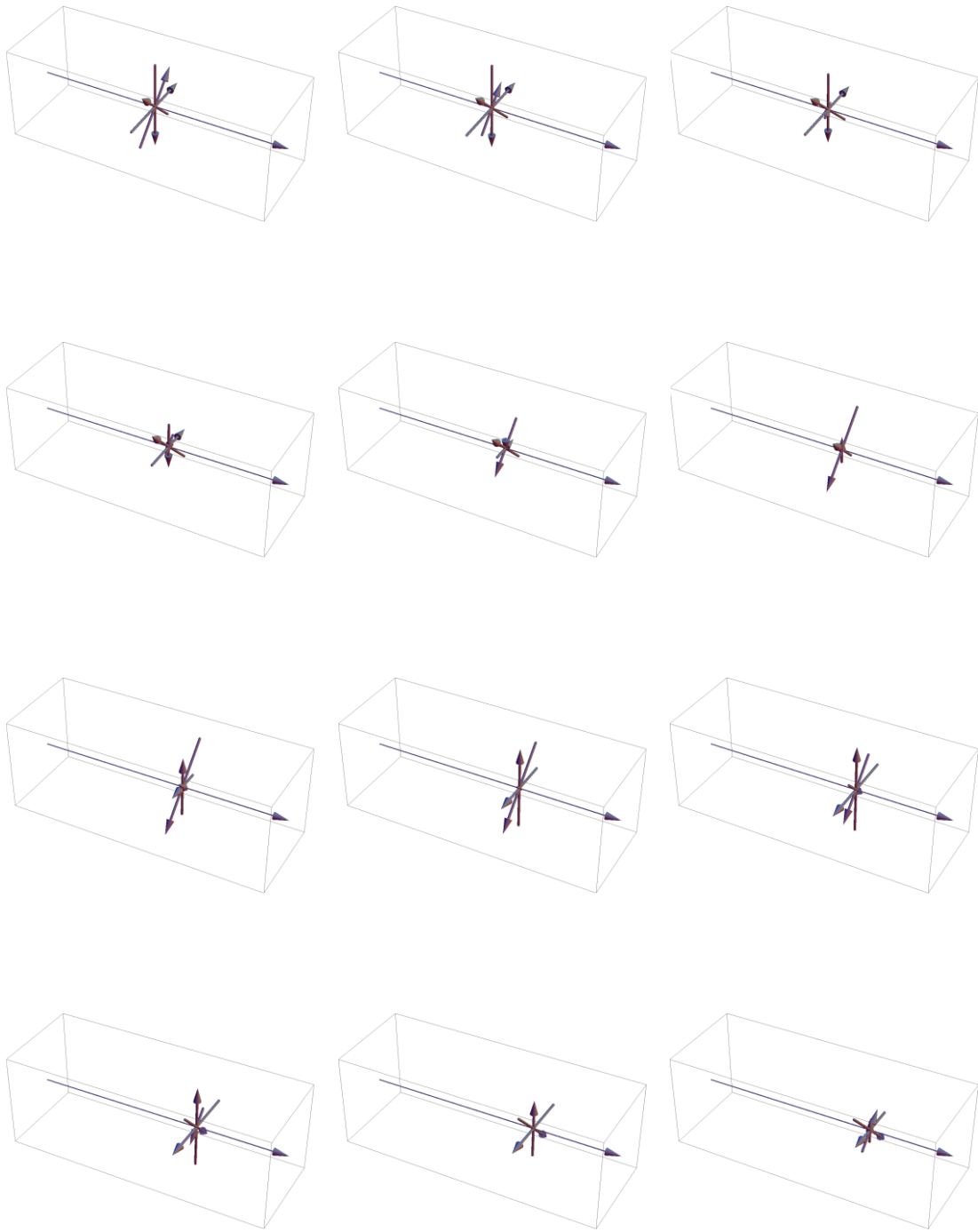
Por fim, o código a seguir cria um arquivo com 50 imagens animadas, representando a propagação da onda com passos de $\Delta x=0.1$.

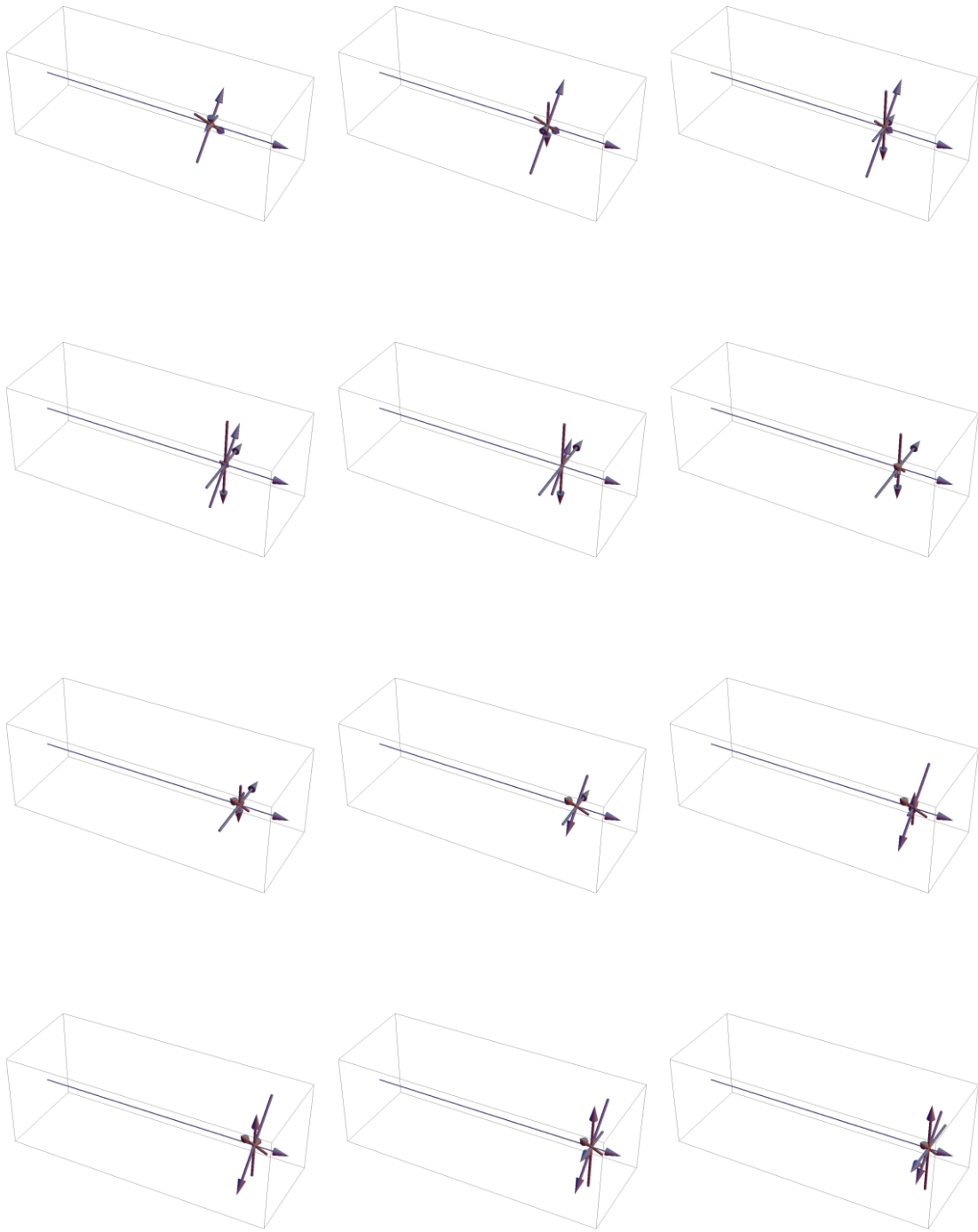
```
Luz=Table[
  Graphics3D[{Gray,
  Arrowheads[{{.05,1}}],
  Arrow[
  Tube[{{0,0,0},{5.3,0,0}},0.01]],
  Table[
  Campo[0.1 t,Cos[Fase[i]+W[i]t],
  i 45Degree],
  {i, 1, 4}]],
  PlotRange->{{-.2,5.3},{-1,1},{-1,1}},
  ImageSize->1000],
  {t, 1, 50}];
Export["Luz.gif",Luz]
```

As 50 imagens integrantes deste arquivo animando (Luz.gif) são mostradas individualmente na Figura 2.2.









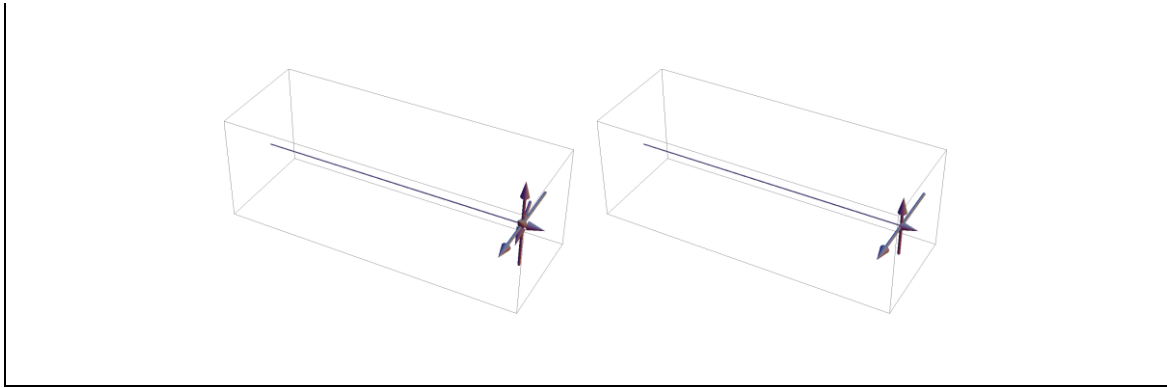


Figura 2.2 - Sequência de 50 imagens do arquivo animando da propagação da luz não polarizada (Luz.gif) mostradas individualmente.

Também é possível agrupar diferentes imagens em uma imagem simples usando a função *Show*. No código que trazemos a seguir há um agrupamento de imagens de 8 em 8 passos, mostrado na Figura 2.3, processo que pode facilitar a visualização do fenômeno.

```
Onda1=Show[Table[
  Onda[[i]],{i,1,50,8}]];
Export["Onda1.gif",Onda]
```

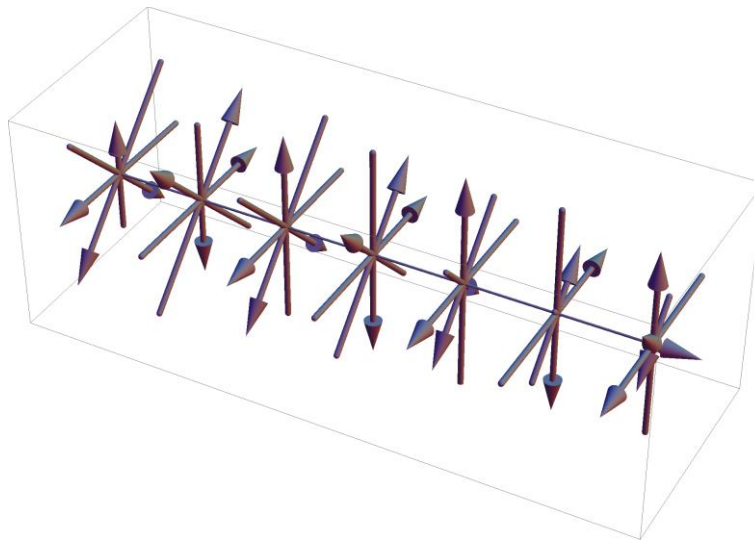


Figura 2.3 - Imagens agrupadas da propagação da luz não polarizada.

2.2. Simulando a Luz Passando por Um Polarizador

Para simular a luz atravessando um polarizador, inicialmente desenha-se uma rede de tubos paralelos simulando a anisotropia estrutural do meio polarizador. Isto é realizado pela função `Polarizador` por meio do seguinte código:

```
Polarizador[Pos_,Ang_] :=  
Table[Tube[  
  {Pos,+1.5i Cos[Ang]+1.5 Sin[Ang],  
    -1.5i Sin[Ang]+1.5 Cos[Ang]},  
  {Pos,+1.5i Cos[Ang]-1.5 Sin[Ang],  
    -1.5i Sin[Ang]-1.5 Cos[Ang]}},  
  .025],  
{i,-1,1,.1}];
```

Os parâmetros `Pos` e `Ang` são a posição horizontal e o ângulo de orientação do polarizador. Essa função desenha um objeto maior que os limites do `PlotRange`, todavia, isso não se torna um problema, pois o `Graphics3D` recorta os excessos.

O código para simular uma onda luminosa passando por um polarizador é apresentado em seguida:

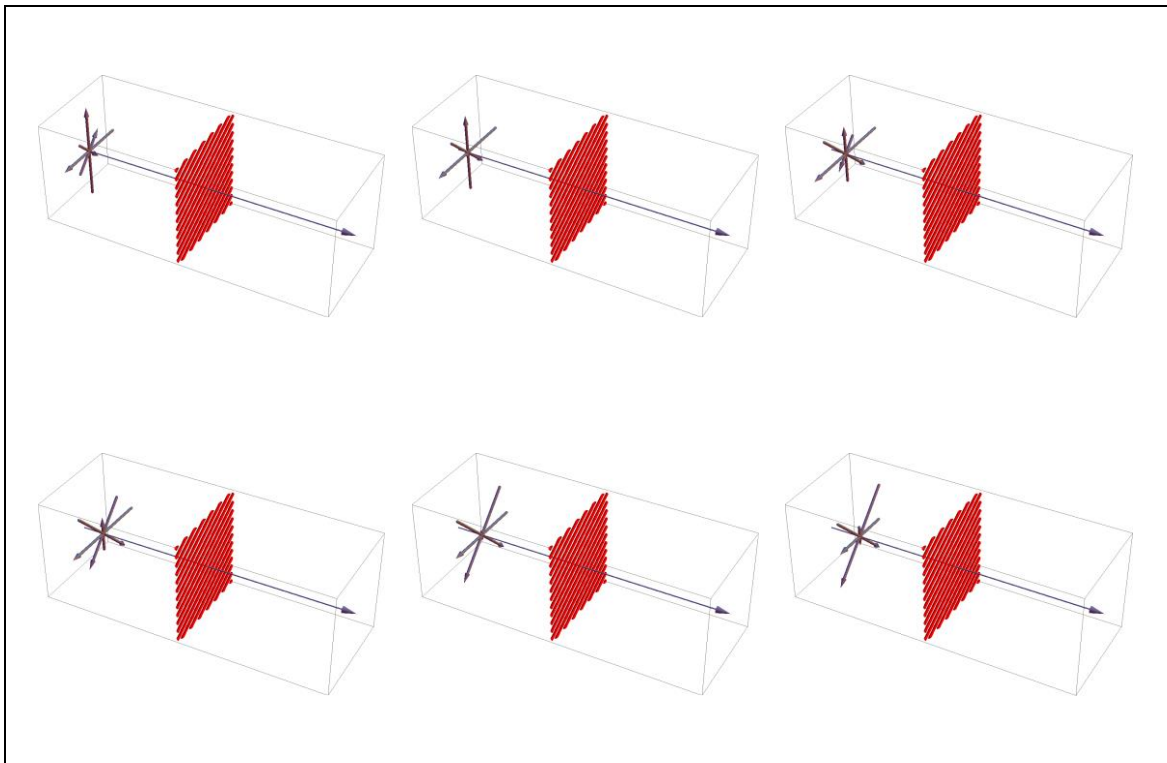
```
PosPol=2.5;  
AngPol=60Degree;  
  
AmpPar=Sum[  
  Cos[Fase[i]+W[i]*10PosPol]*  
  Cos[(i 45Degree)-AngPol],  
  {i,1,4}];  
AmpPerp=Sum[  
  
  Cos[Fase[i]+W[i]*10PosPol]*  
  Sin[(i 45Degree)-AngPol],  
  {i,1,4}];  
FasePol=If[  
  AmpPerp==0,  
  Sign[AmpPar] 90Degree,  
  ArcTan[AmpPar/AmpPerp]];  
WPol=Sum[W[i],{i,1,4}]/4;  
  
Polarizador1=Table[  
  Graphics3D[{Red,  
    Polarizador[PosPol,AngPol],  
    Gray, Arrow[  
      Tube[{{0,0,0},{5.3,0,0}},0.01]],  
    Arrowheads[{{.03,1}}],
```

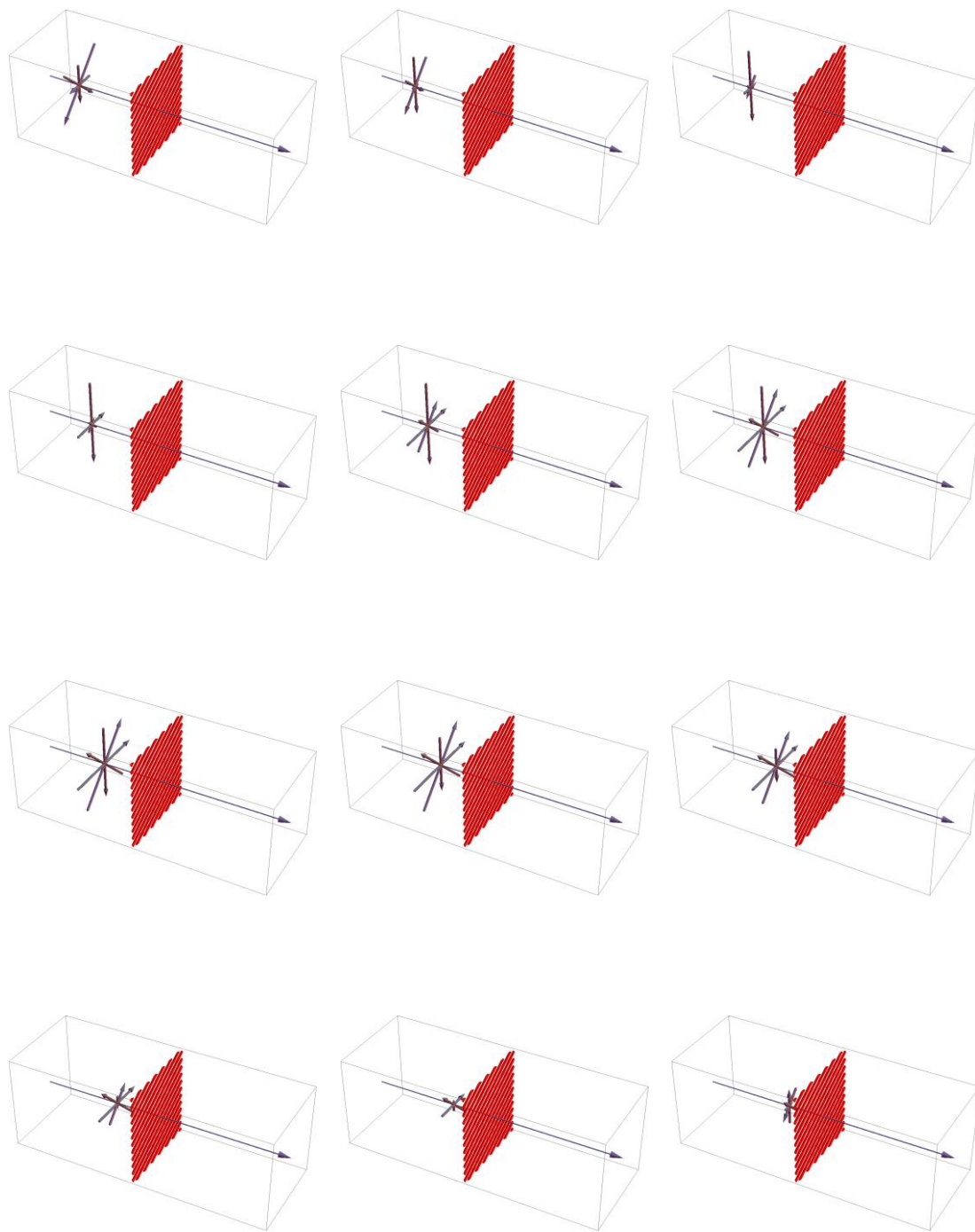
```

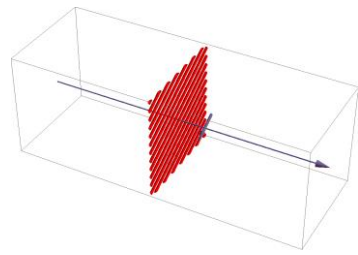
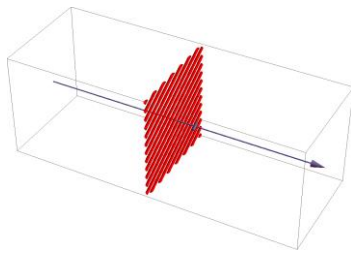
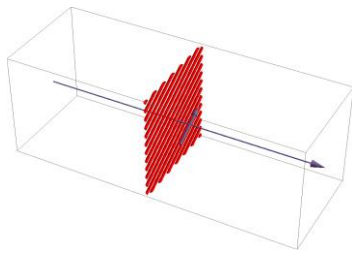
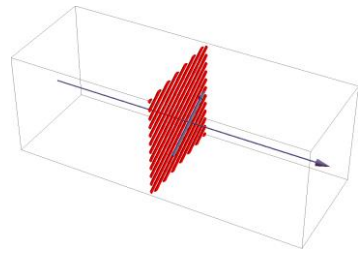
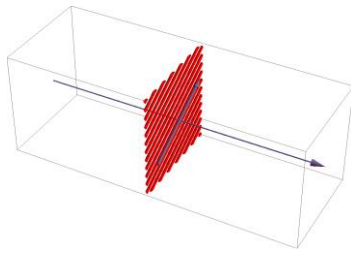
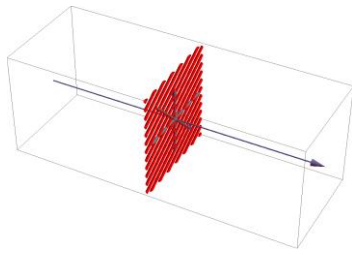
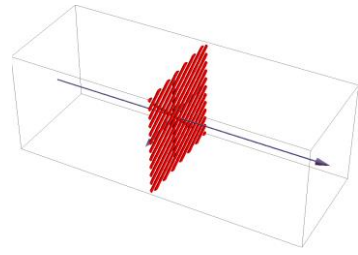
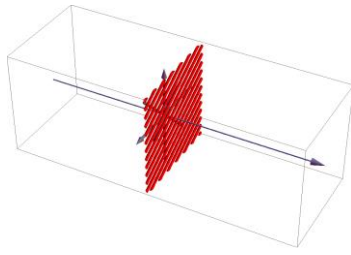
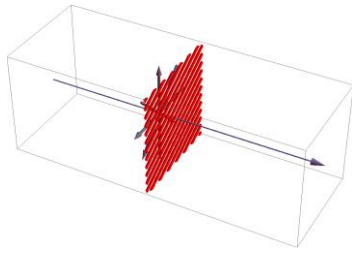
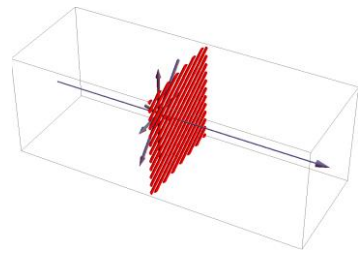
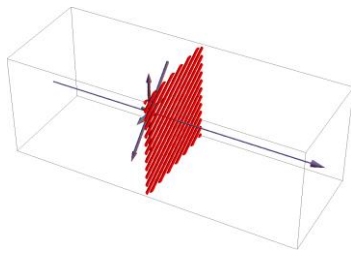
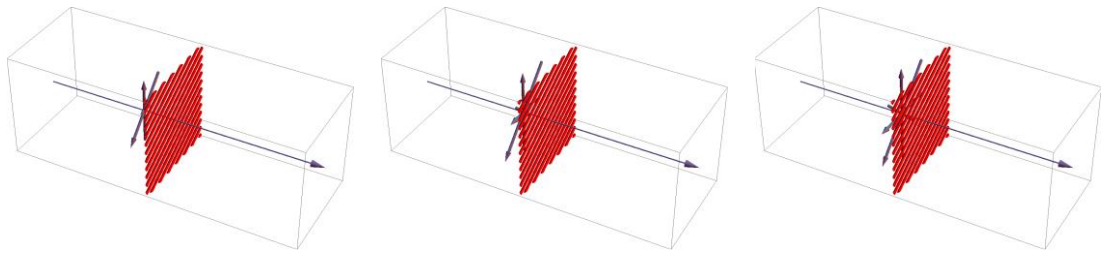
If [0.1t<=PosPol,
  Table[Campo[0.1t,
    Cos[Fase[i]+W[i] t],i 45Degree],
    {i,1,4}],
  Campo[0.1t,
    Cos[FasePol+WPol (t-PosPol*10)],
    AngPol]]],
PlotRange->{{-.2,5.3},{-1,1},{-1,1}},
ImageSize->1000],
{t,1,50}];
Export["Polarizador1.gif", Polarizador1]

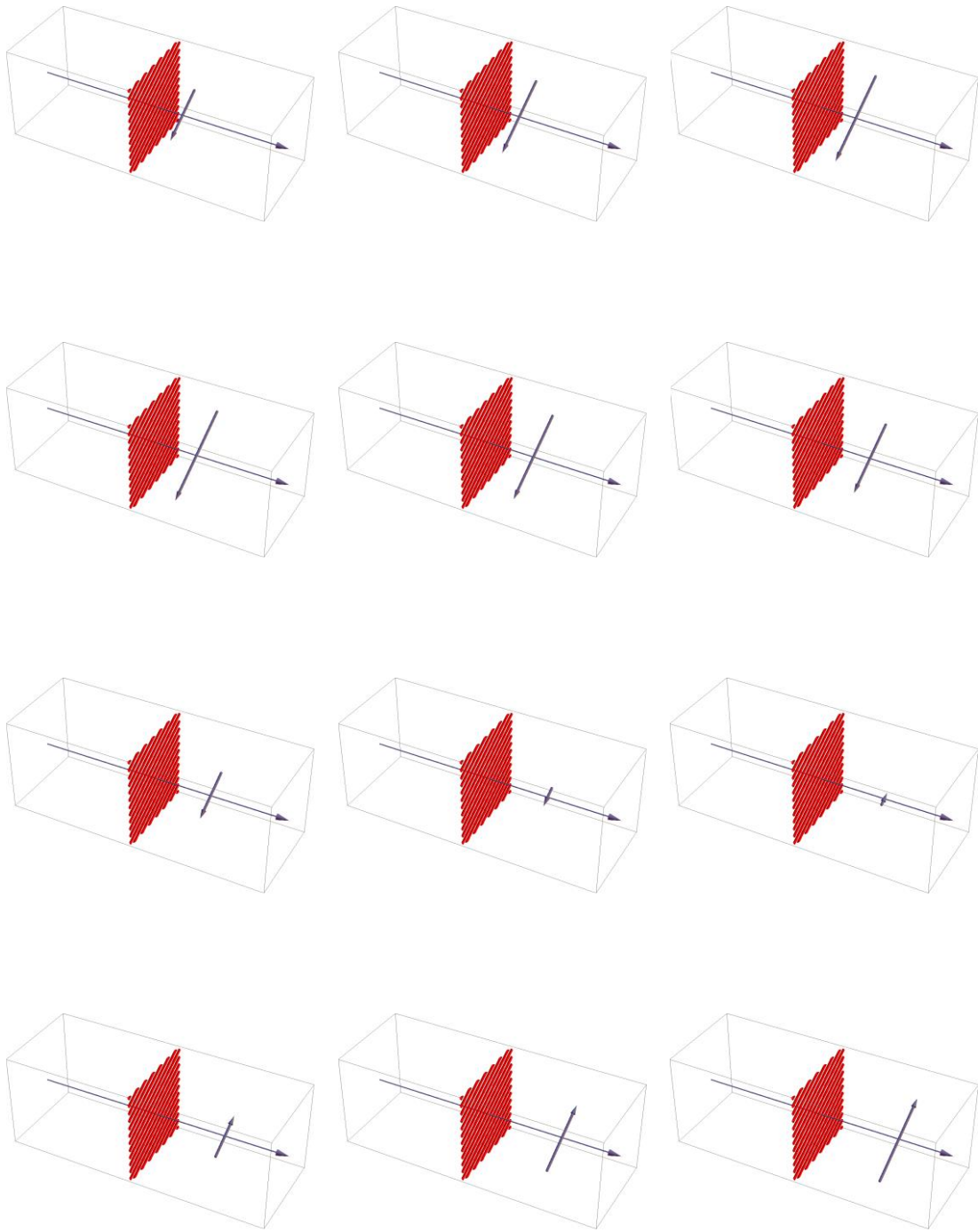
```

As constantes `PosPol` e `AngPol` são a posição e o ângulo de orientação do polarizador, neste caso: 2.5 e 60°. Para uma transição suave da luz não polarizada para a luz polarizada, a fase desta última (`FasePol`) é calculada pela tangente de `AmpPar` e `AmpPer`, que são as componentes resultantes dos vetores de campos projetados na direção paralela e perpendicular ao `AngPol`. A velocidade angular da onda polarizada (`WPol`) é a média das velocidades angulares dos vetores campos (`W`). As 50 imagens integrantes deste arquivo animando (`Polarizador.gif`) são mostradas individualmente na Figura 2.4.









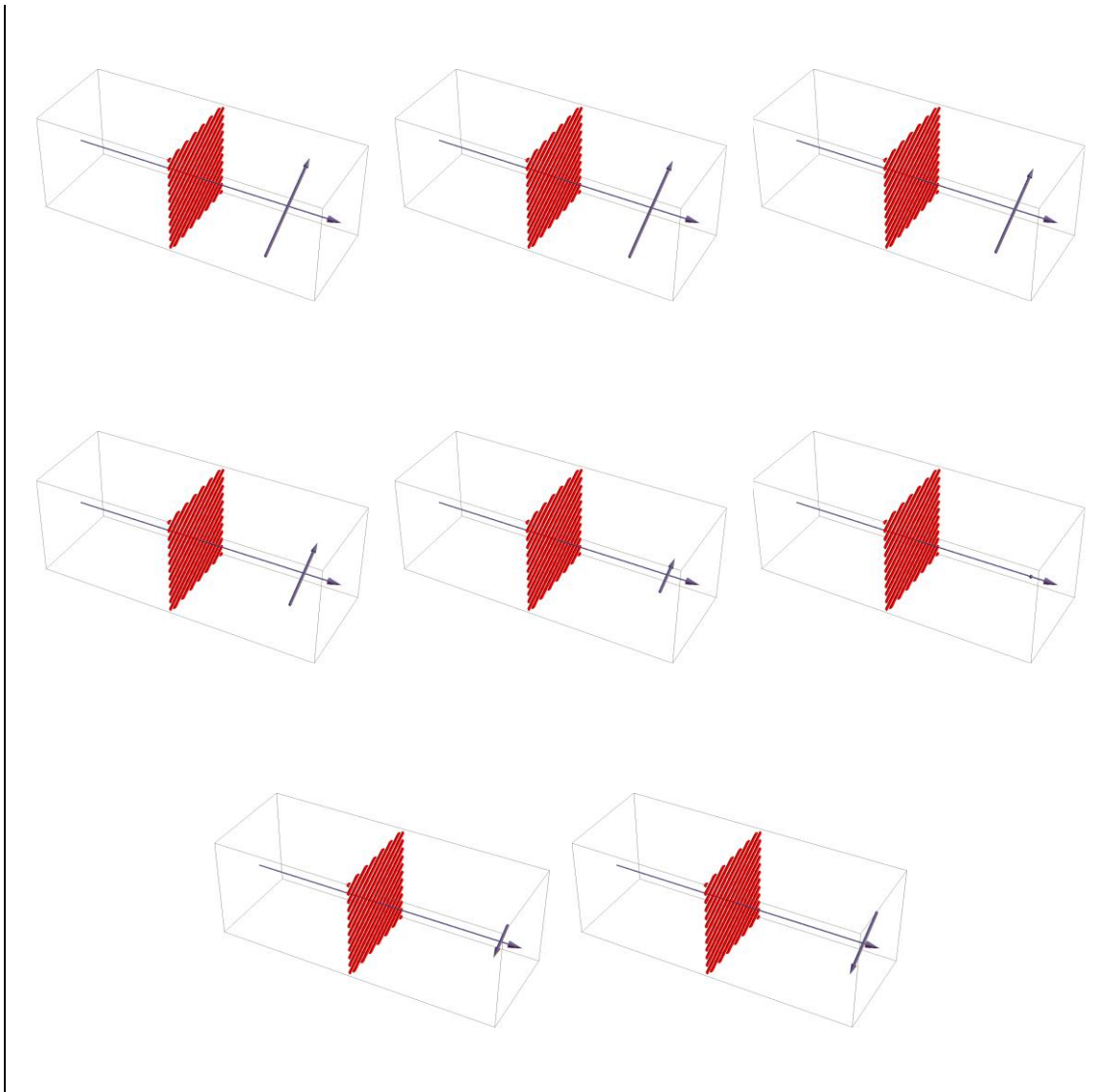


Figura 2.4 - Sequência de 50 imagens do arquivo animando da propagação da luz não polarizada através de um polarizador a 60° (Polarizador.gif).

Concatenando as imagens de simulações de luz polarizada atravessando um polarizador com diferentes ângulos (0° , 30° , 60° , 90° , 120° e 150°) temos as imagens da Figura 2.5.

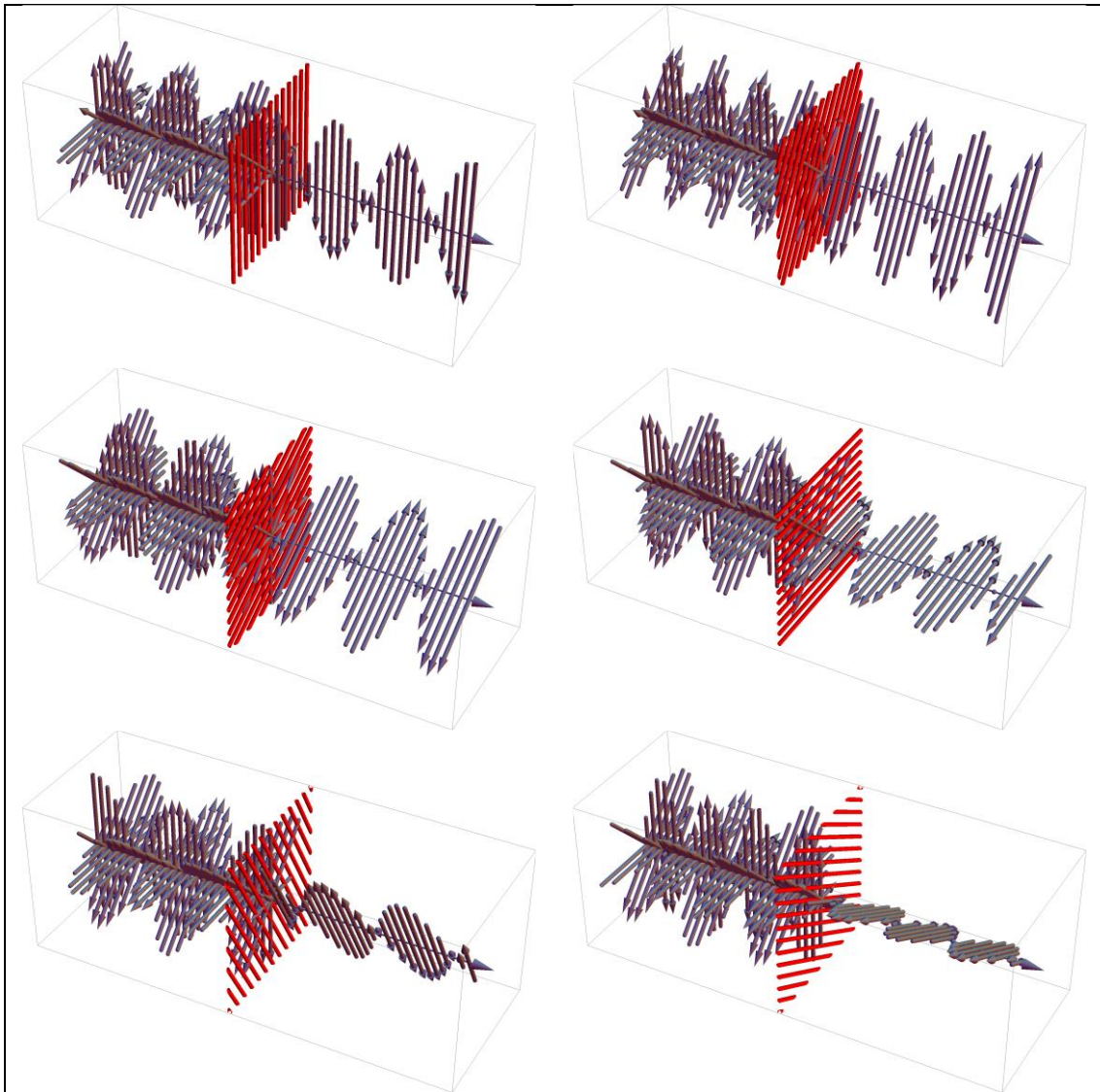


Figura 2.5: Imagens concatenadas de uma luz não polarizada passando por polarizador com diferentes ângulos (0° , 30° , 60° , 90° , 120° e 150°).

2.3. Simulando a Luz Passando por Dois Polarizadores

Para simular a luz atravessando dois polarizadores, o código mantém um polarizador com posição ($PosPol=1.5$) e o ângulo diretor ($AngPol=0^\circ$) fixos, enquanto um segundo polarizador tem posição fixa ($PosPol2=3.5$) e varia o ângulo diretor ($AngPol2$). No exemplo que trazemos na continuidade, o valor de $AngPol2$ varia de 0° , 30° , 60° , 90° , 120° e 150° .

```
PosPol=1.5;
AngPol=0 Degree;
PosPol2=3.5;
```

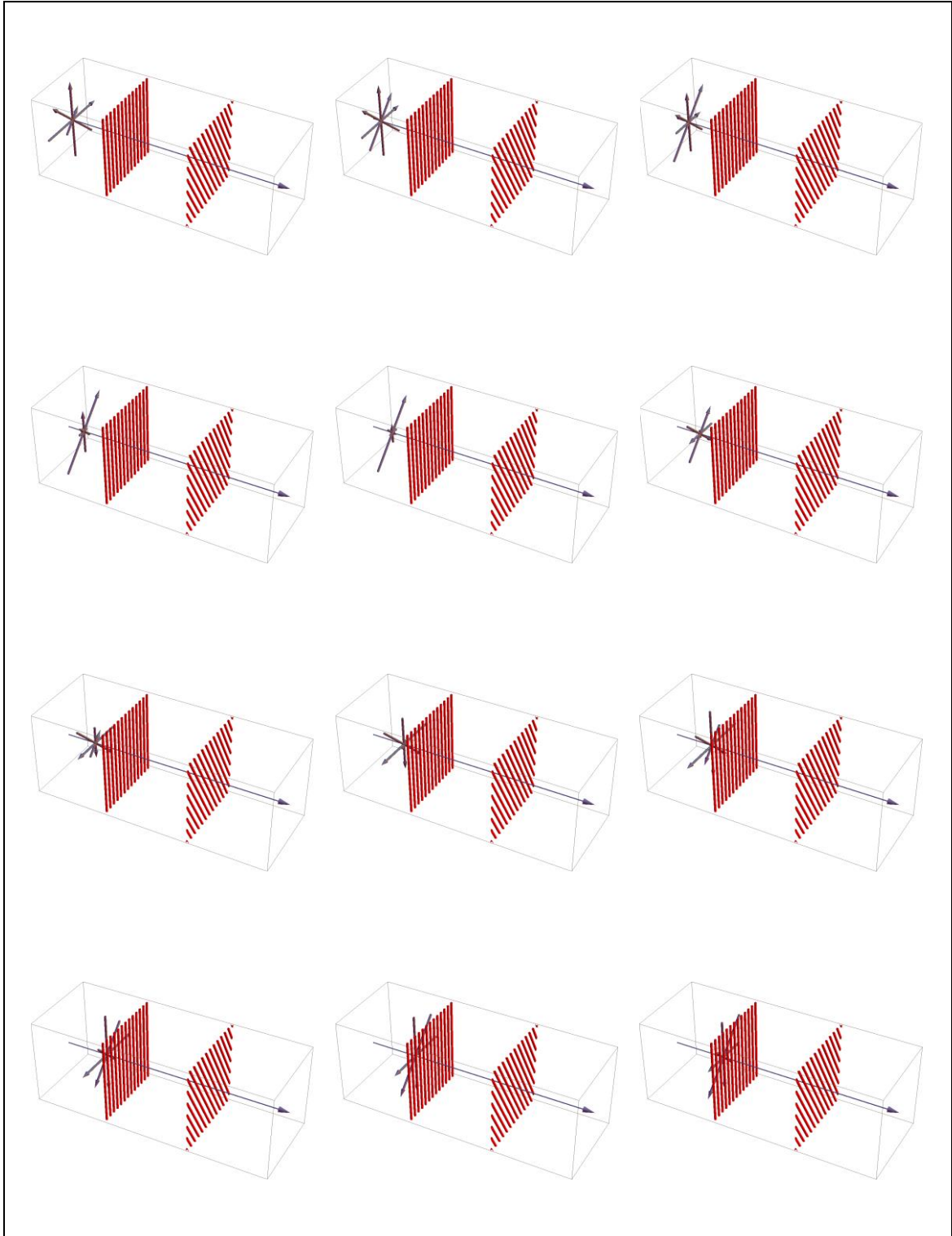
```

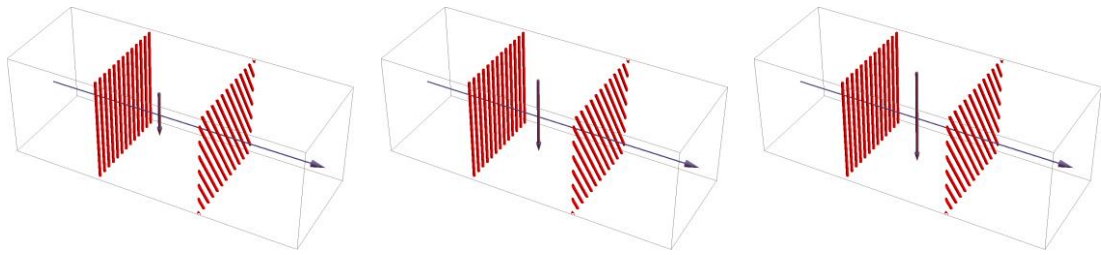
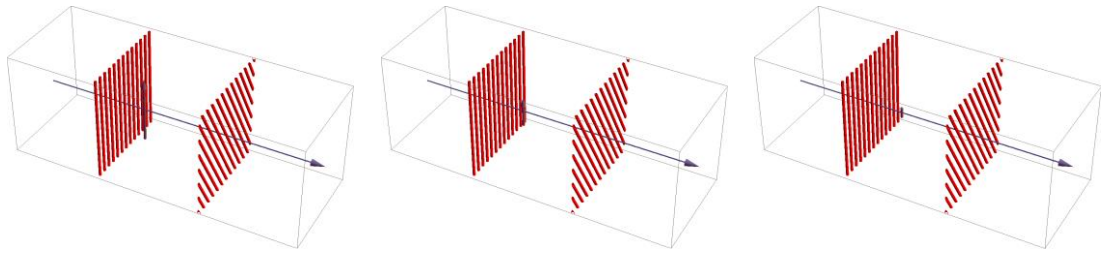
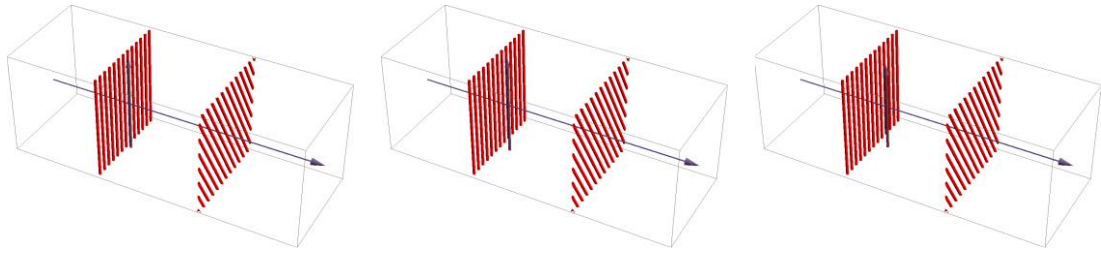
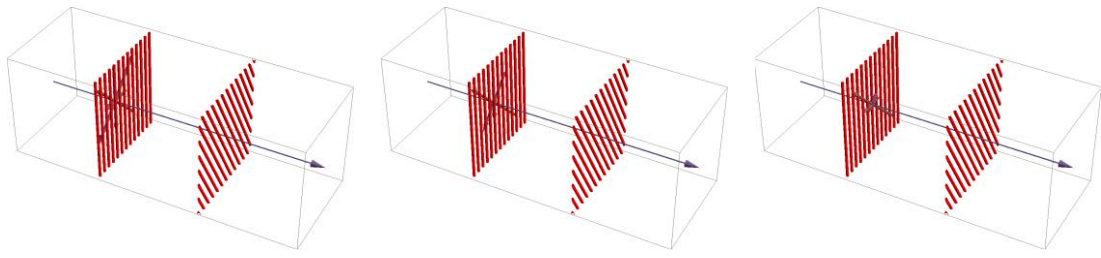
AmpPar=Sum[
  Cos[Fase[i]+W[i]*10PosPol]*
  Cos[(i 45Degree)-AngPol],
  {i,1,4}];
AmpPerp=Sum[
  Cos[Fase[i]+W[i]*10PosPol]*
  Sin[(i 45Degree)-AngPol],
  {i,1,4}];
FasePol=If[AmpPerp==0,
  Sign[AmpPar] 90Degree,
  ArcTan[AmpPar/AmpPerp]];
WPol=Sum[W[i],{i,1,4}]/4;

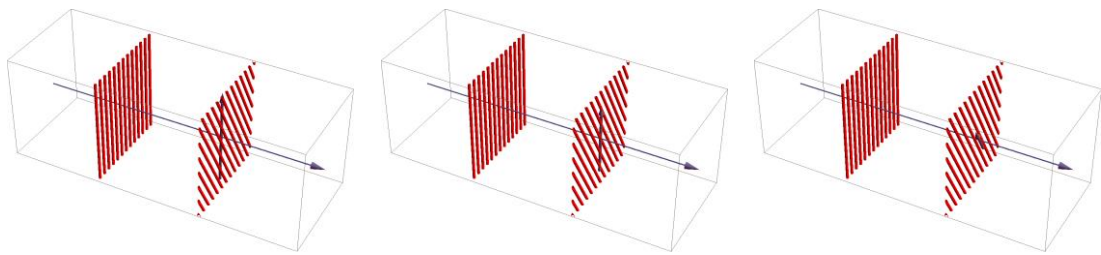
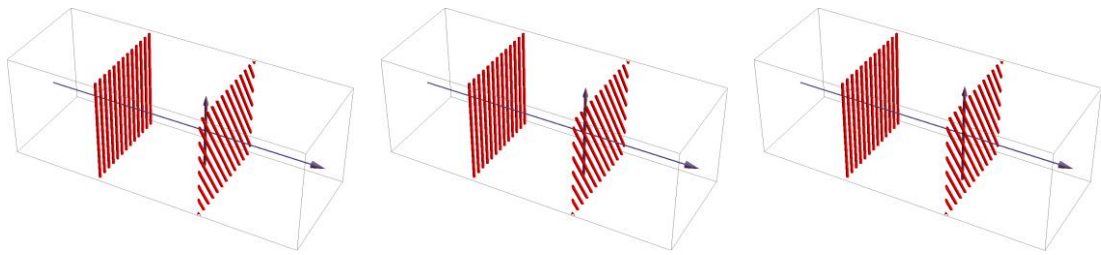
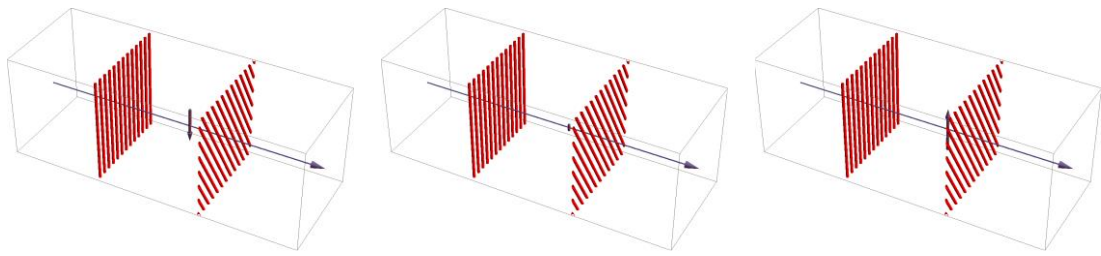
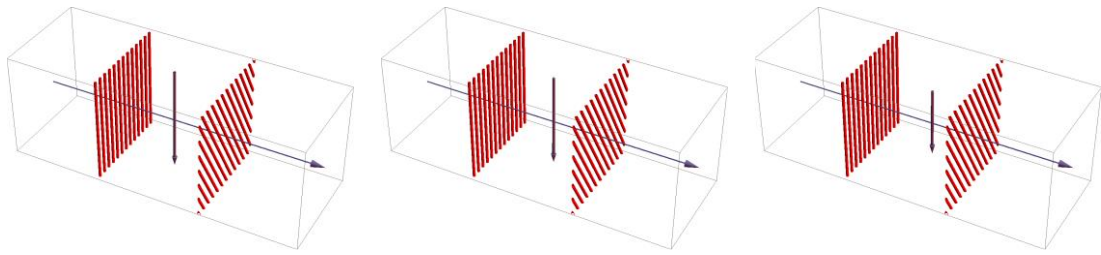
Polarizadores2=Flatten[Table[
  Graphics3D[{Red,
  Polarizador[PosPol,AngPol],
  Polarizador[PosPol2, AngPol2],
  Gray, Arrow[
  Tube[{{0,0,0},{5.3,0,0}},0.01]],
  Arrowheads[{{.03,1}}],
  If[0.1t<=PosPol,
  Table[Campo[0.1t,
  Cos[Fase[i]+W[i]t],i 45Degree],
  {i,1,4}],
  If[0.1t<=PosPol2,
  Campo[0.1t,
  Cos[FasePol+WPol(t-PosPol*10)],
  AngPol],
  Campo[0.1t,
  Cos[FasePol+WPol(t-PosPol*10)]*
  Cos[AngPol-AngPol2],
  AngPol2]]]],
  PlotRange->{{-.2,5.3},{-1,1},{-1,1}},
  ImageSize->1000],
  {AngPol2,0Degree,179Degree,30Degree},
  {t,1,50}]];
Export["Polarizadores2.gif",Polarizadores2]

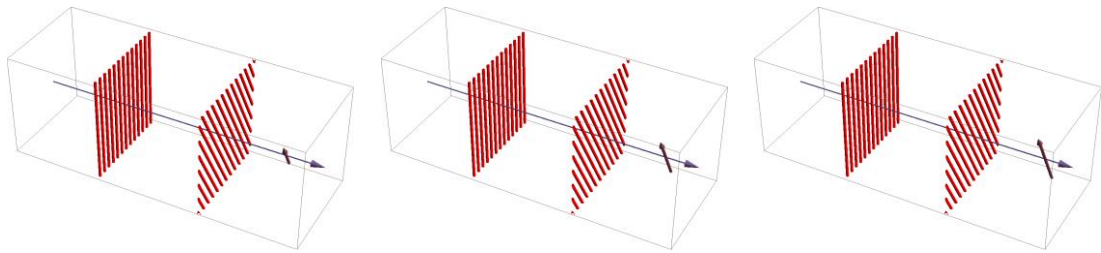
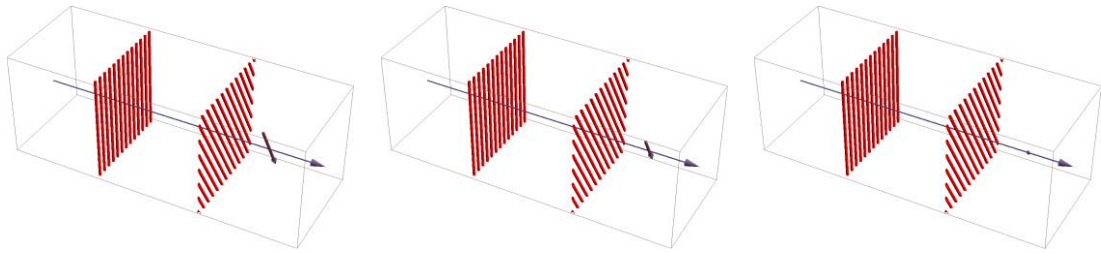
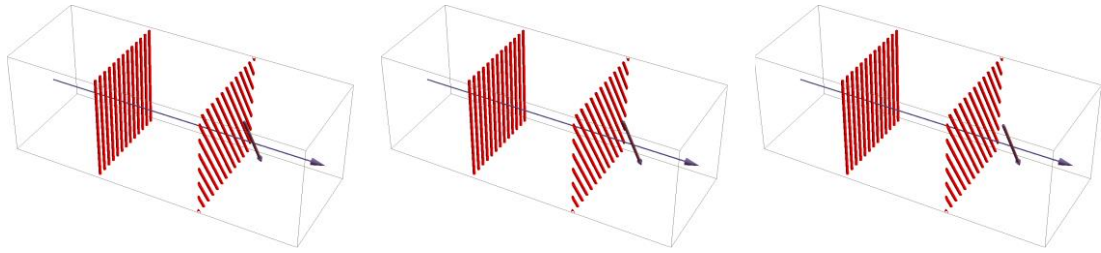
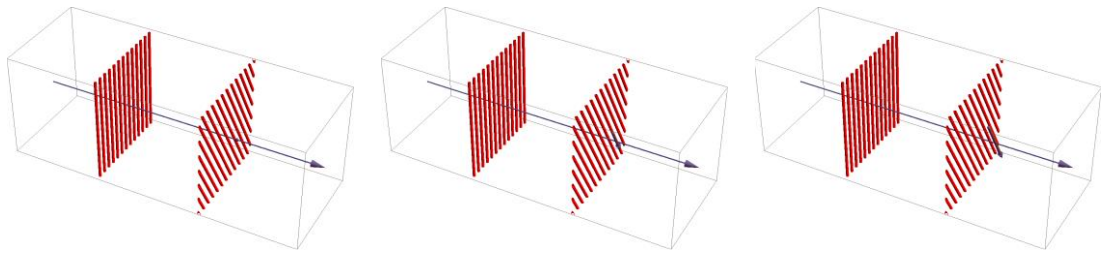
```

Esta animação tem 300 imagens sequências, sendo 50 para cada um dos seis ângulos diferentes (0°, 30°, 60°, 90°, 120° e 150°) entre o primeiro e o segundo polarizador (AngPol2). Para exemplificar na F2.6 são mostradas as 50 imagens para o ângulo 150°.









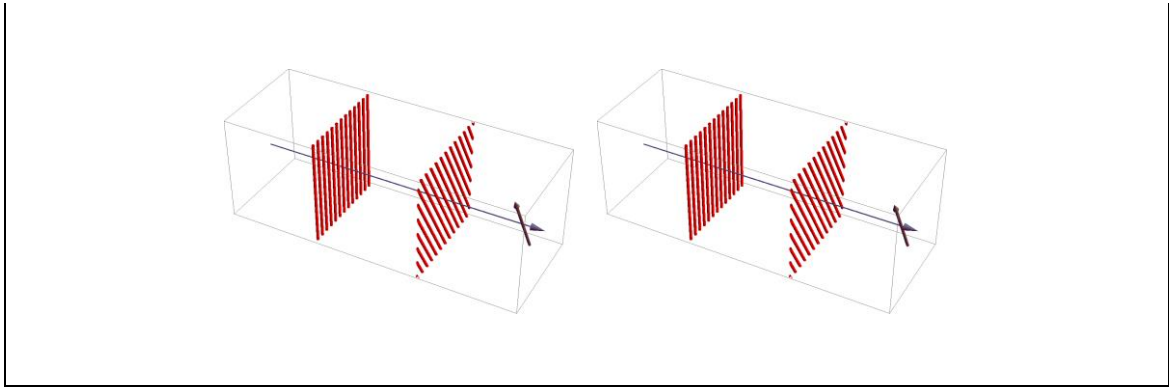


Figura 2.6 - Sequência de 50 imagens do arquivo animando da propagação da luz não polarizada através de dois polarizadores com ângulo de 150° .

Concatenando as imagens de simulações de luz polarizada atravessando dois polarizadores, com diferentes ângulos para o segundo polarizador (0° , 30° , 60° , 90° , 120° e 150°) temos as imagens da Figura 2.7.

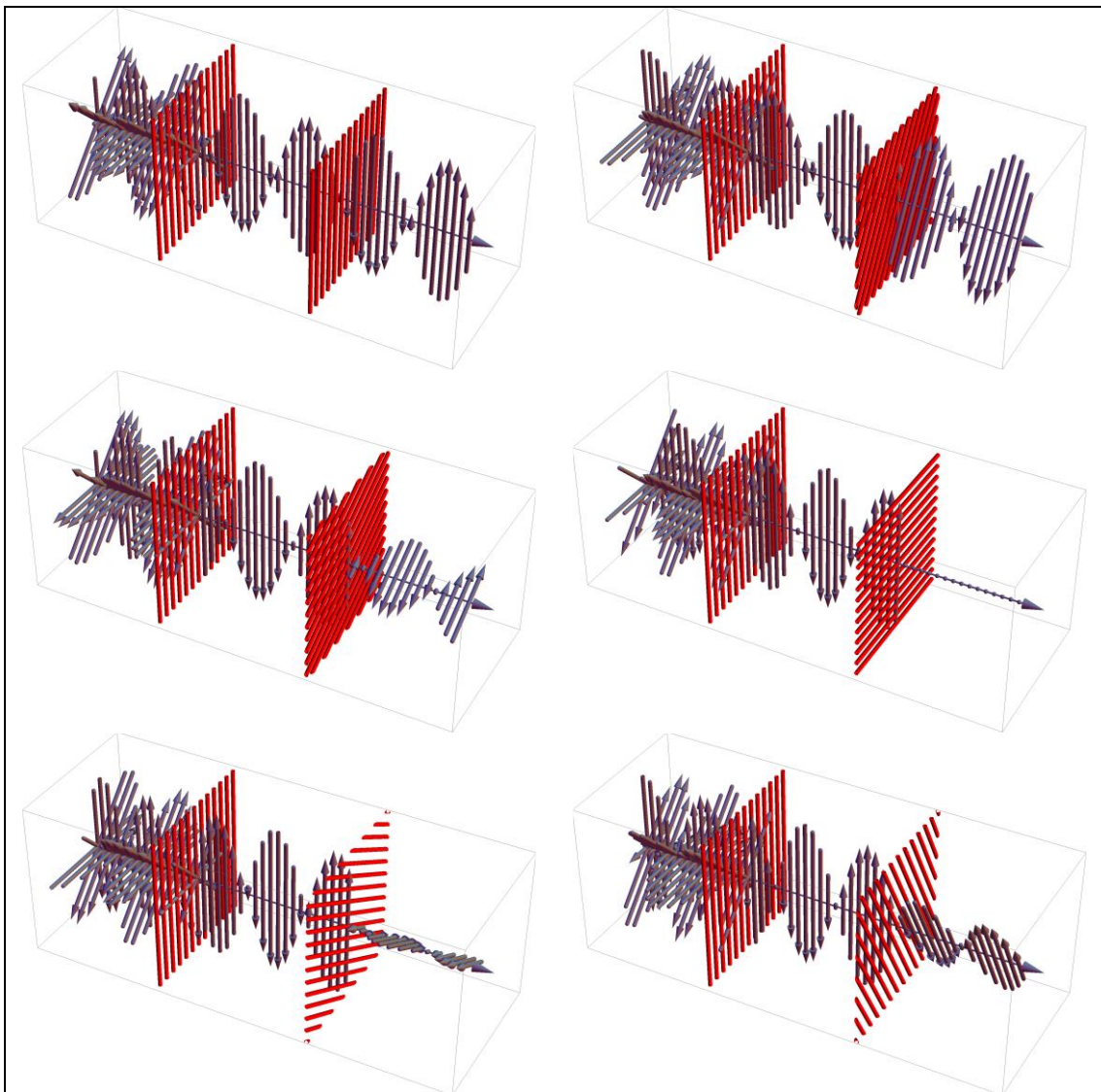


Figura 2.7 - Imagens concatenadas de uma luz não polarizada passando por dois polarizadores com diferentes ângulos (0°, 30°, 60°, 90°, 120° e 150°).

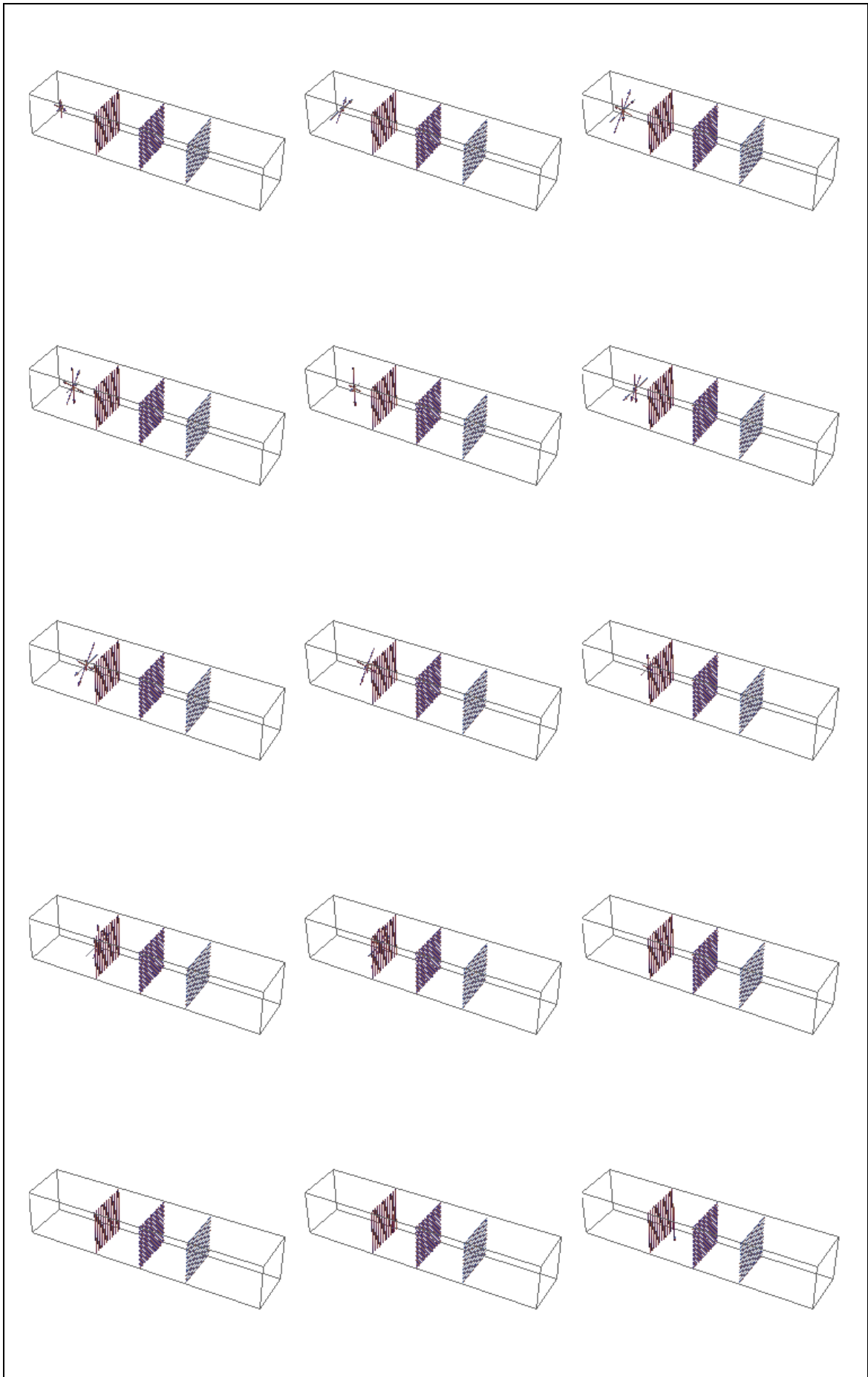
2.4. Simulando a Luz Passando por Três Polarizadores

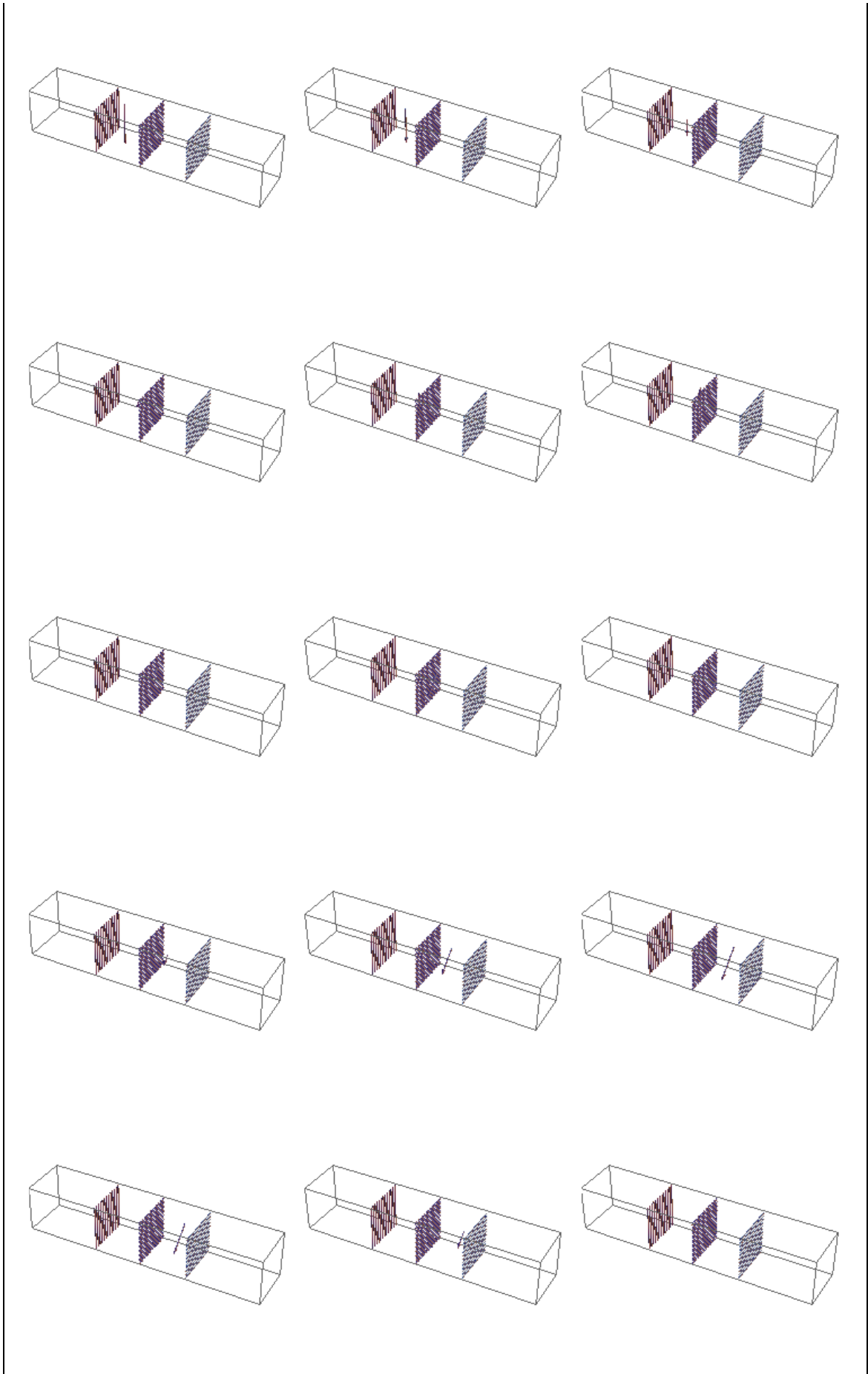
Para simular a luz atravessando três polarizadores, o código mantém dois polarizadores com posições (PosPol1=-2 e PosPol3=2) e o ângulos diretores (AngPol1=0° e AngPol3=90°) fixos, enquanto um outro polarizador, entre os dois primeiros, tem posição fixa (PosPol2=0) e varia o ângulo diretor (AngPol2). No exemplo que trazemos na continuidade, o valor de AngPol2 varia de 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°, 112.5°, 135° e 157.5°.

```
PosPol1 = -2;
PosPol2 = 0;
PosPol3 = 2;
AngPol1 = 0 Degree;
AngPol3 = 90 Degree;

Polarizadores3=Flatten[Table[
  Table[ Graphics3D[{{Gray, Arrowheads[{{.025, 1}}]},
    Polarizador[PosPol1, AngPol1],
    Polarizador[PosPol2, AngPol2],
    Polarizador[PosPol3, AngPol3],
    If[.2 i >= PosPol3,
      Campo[.2 i,
        Cos[AngPol3-AngPol2]*Cos[AngPol2-AngPol1]*
        Cos[i W[1] + Fase[1]] , AngPol3],
      If[.2 i >= PosPol2,
        Campo[.2 i, Cos[AngPol2-AngPol1]*Cos[i W[1]
          + Fase[1]],AngPol2],
        If[.2 i >=PosPol1, Campo[.2 i, Cos[i W[1]
          + Fase[1]],AngPol1],
          {Campo[.2 i, Cos[i W[1] + Fase[1]], 0 Degree],
            Campo[.2 i, Cos[i W[2] + Fase[2]], 45 Degree],
            Campo[.2 i, Cos[i W[3] + Fase[3]], 90 Degree],
            Campo[.2 i, Cos[i W[4] + Fase[4]], 135 Degree]}]]],
  PlotRange -> {{-5, 5}, {-1, 1}, {-1, 1}}, Boxed -> True,
  ImageSize -> 1000], {i, -21, 21}], {AngPol2,
  0 Degree, -179 Degree, -22.5 Degree}]];
Export["Polarizadores3.gif",Polarizadores3]
```

Esta animação tem 344 imagens sequências, sendo 43 para cada um dos oito ângulos diferentes (0°, 30°, 60°, 90°, 120° e 150°) do polarizador do meio (AngPol2). Para exemplificar na Figura 2.8 são mostradas 42 imagens para o ângulo 135°.





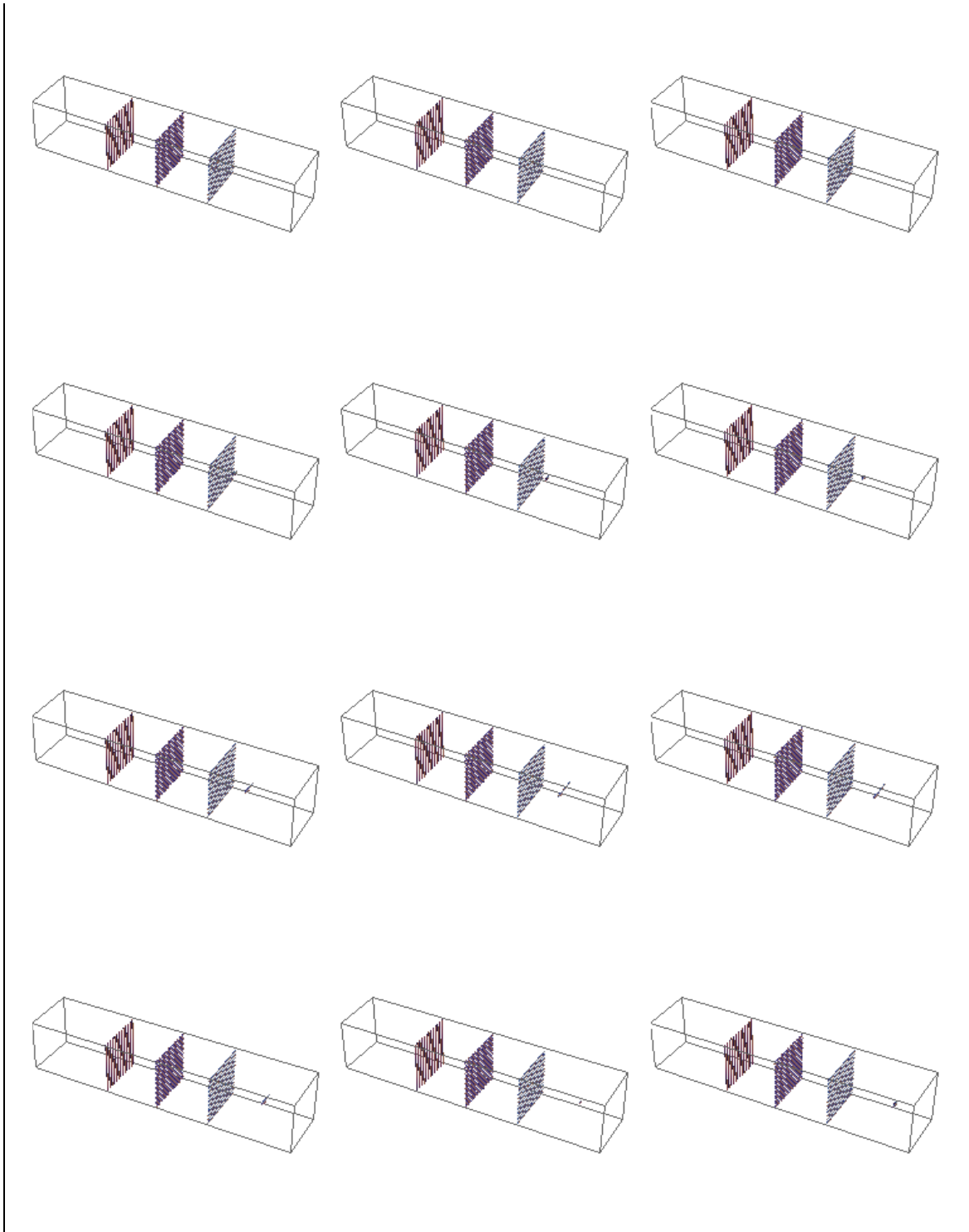


Figura 2.8 - Sequência de 42 imagens do arquivo animando da propagação da luz não polarizada através de três polarizadores

Concatenando as imagens de simulações de luz polarizada atravessando três polarizadores, com diferentes ângulos para o polarizador do meio (0° , 22.5° , 45° , 67.5° , 90° , 112.5° , 135° e 157.5°) temos as imagens da Figura 2.9.

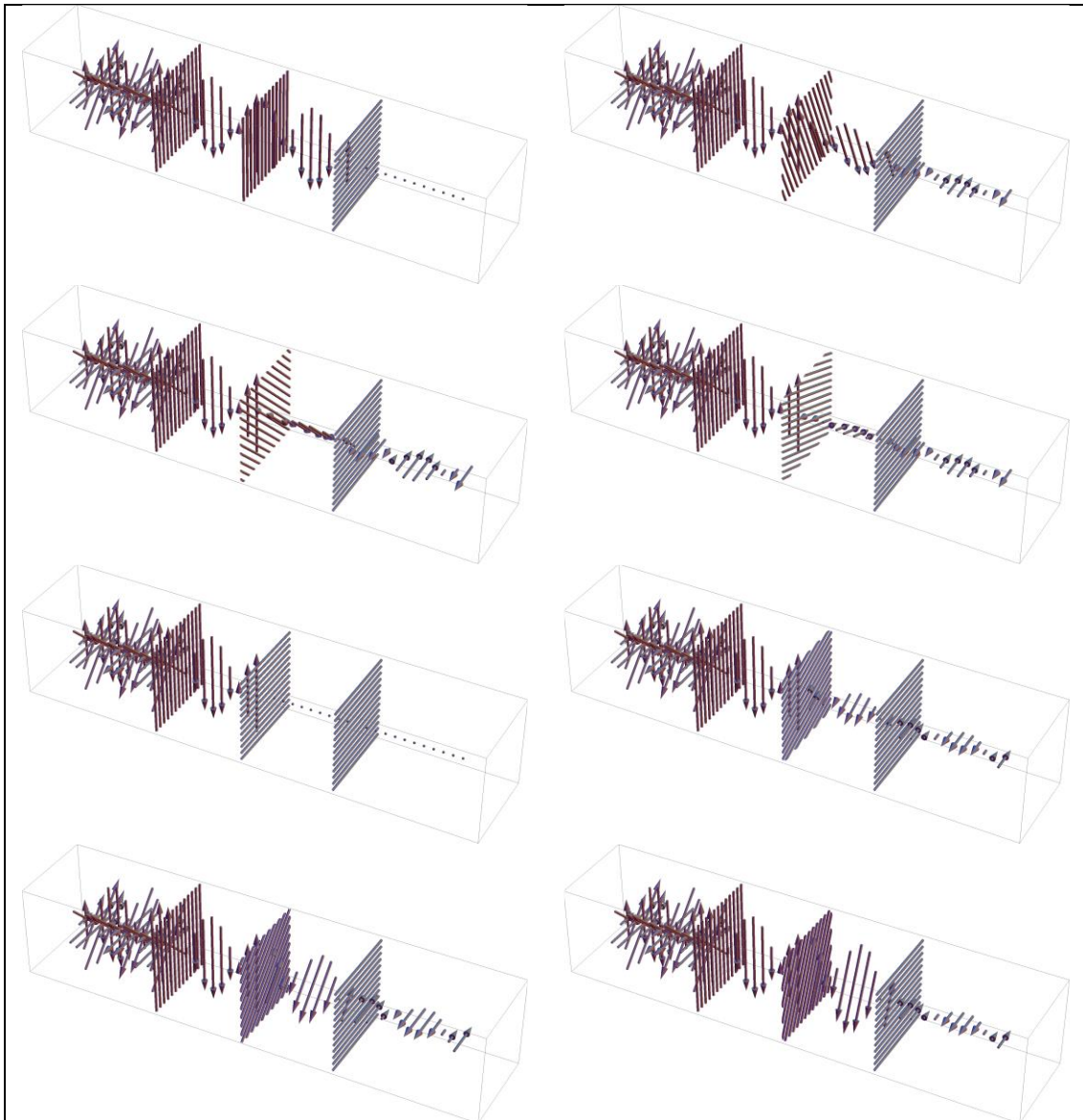


Figura 2.9 - Imagens concatenadas de uma luz não polarizada passando por três polarizadores.

2.5. Simulando a Luz Passando por Polarizadores e Meio Ativo Óptico.

Uma interessantíssima simulação é quando dois polarizadores cruzados (90°) têm entre eles um meio opticamente ativo, que rotaciona o plano de polarização da luz. Este é o princípio de funcionamento dos monitores de cristal líquido (LCD). O código que trazemos neste artigo gera consecutivamente uma simulação de cinco simulações, com um meio com atividade óptica que rotaciona a luz de 0° até 90° .

```
PosPol=1;
AngPol=0Degree;
PosPol2=4;
```

```

AngPol2=90Degree;
IniAtivo=1.5;
FimAtivo=3.5;

AmpPar=Sum[
  Cos[Fase[i]+W[i]*10 PosPol]*
  Cos[(i 45Degree)-AngPol],
  {i,1,4}];
AmpPerp =Sum[
  Cos[Fase[i]+W[i]*10 PosPol]*
  Sin[(i 45Degree)-AngPol],
  {i,1,4}];
FasePol=If[AmpPerp==0,
  Sign[AmpPar] 90Degree,
  ArcTan[AmpPar/AmpPerp]];
WPol=Sum[W[i],{i,1,4}]/4;
Atividade=90 Degree/
  (FimAtivo-IniAtivo)/4;

MeioAtivo=Flatten[Table[Graphics3D[{
  Blue, Opacity[0.05Densidade],
  Cylinder[{{IniAtivo,0,0},
    {FimAtivo,0,0}},1],
  Red, Opacity[1],
  Polarizador[PosPol,AngPol],
  Polarizador[PosPol2,AngPol2],
  Gray,
  Arrowheads[{{.03, 1}}],
  Arrow[Tube[{{0,0,0},{5.3,0,0}},0.01]],
  If[0.1t<=PosPol,
  Table[
    Campo[0.1t,Cos[Fase[i]+W[i]t],
      i 45Degree],{i,1,4}],
    If[0.1t<=IniAtivo,
      Campo[0.1t,Cos[FasePol+WPol*
        (t-PosPol*10)],AngPol],
      If[0.1t<=FimAtivo,
        Campo[0.1t,Cos[FasePol+WPol*
          (t-PosPol*10)],
          AngPol+Atividade*Densidade*
          (0.1t-IniAtivo)],
        If[0.1t<=PosPol2,
          Campo[0.1t,Cos[FasePol+WPol*
            (t-PosPol*10)],
            AngPol+Atividade*Densidade*
            (FimAtivo-IniAtivo)],
          Campo[0.1t,Cos[FasePol+WPol*
            (t-PosPol*10)]*
            -Cos[AngPol2-AngPol+
              Atividade*Densidade*
              (FimAtivo-IniAtivo)],

```

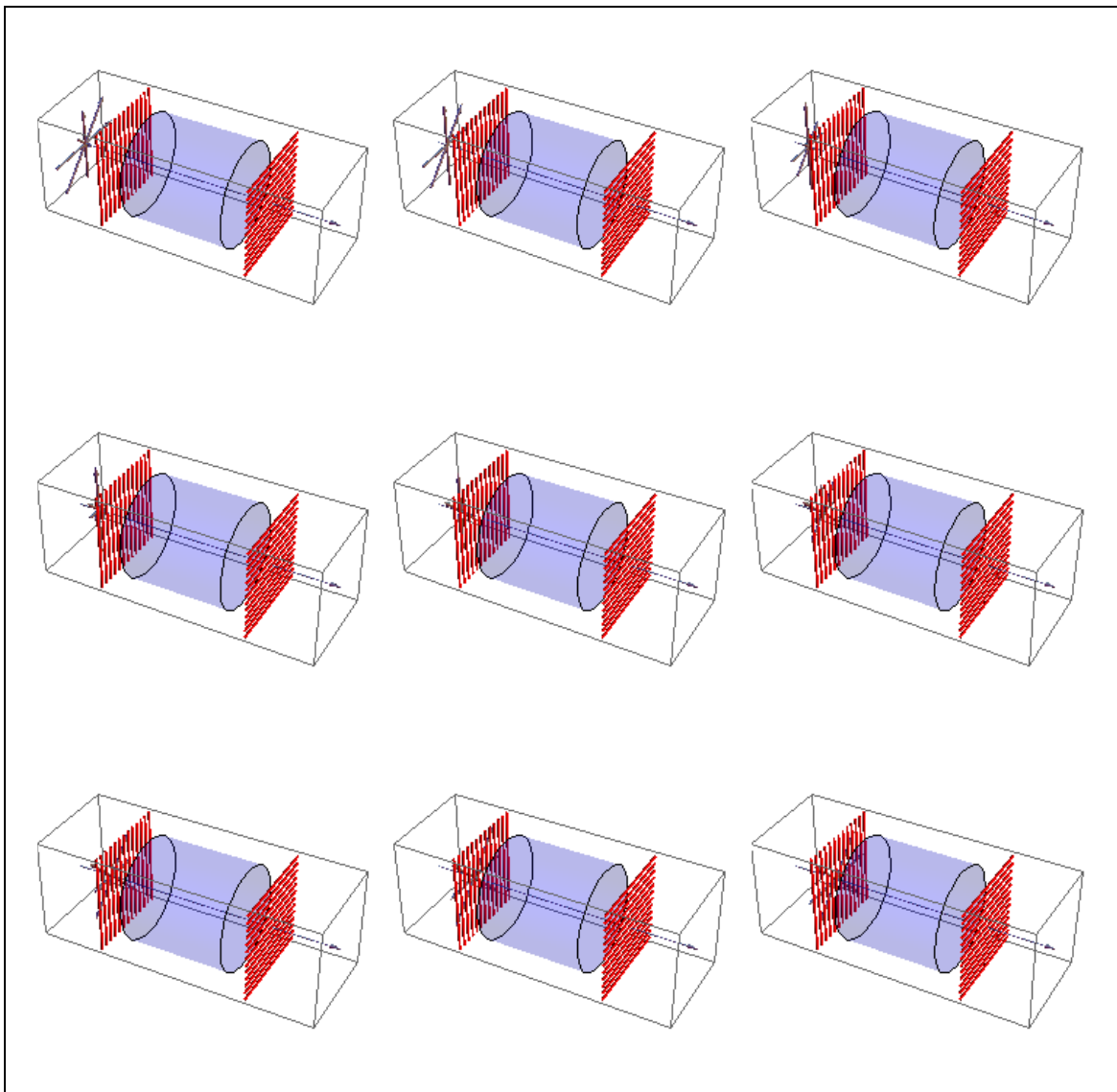


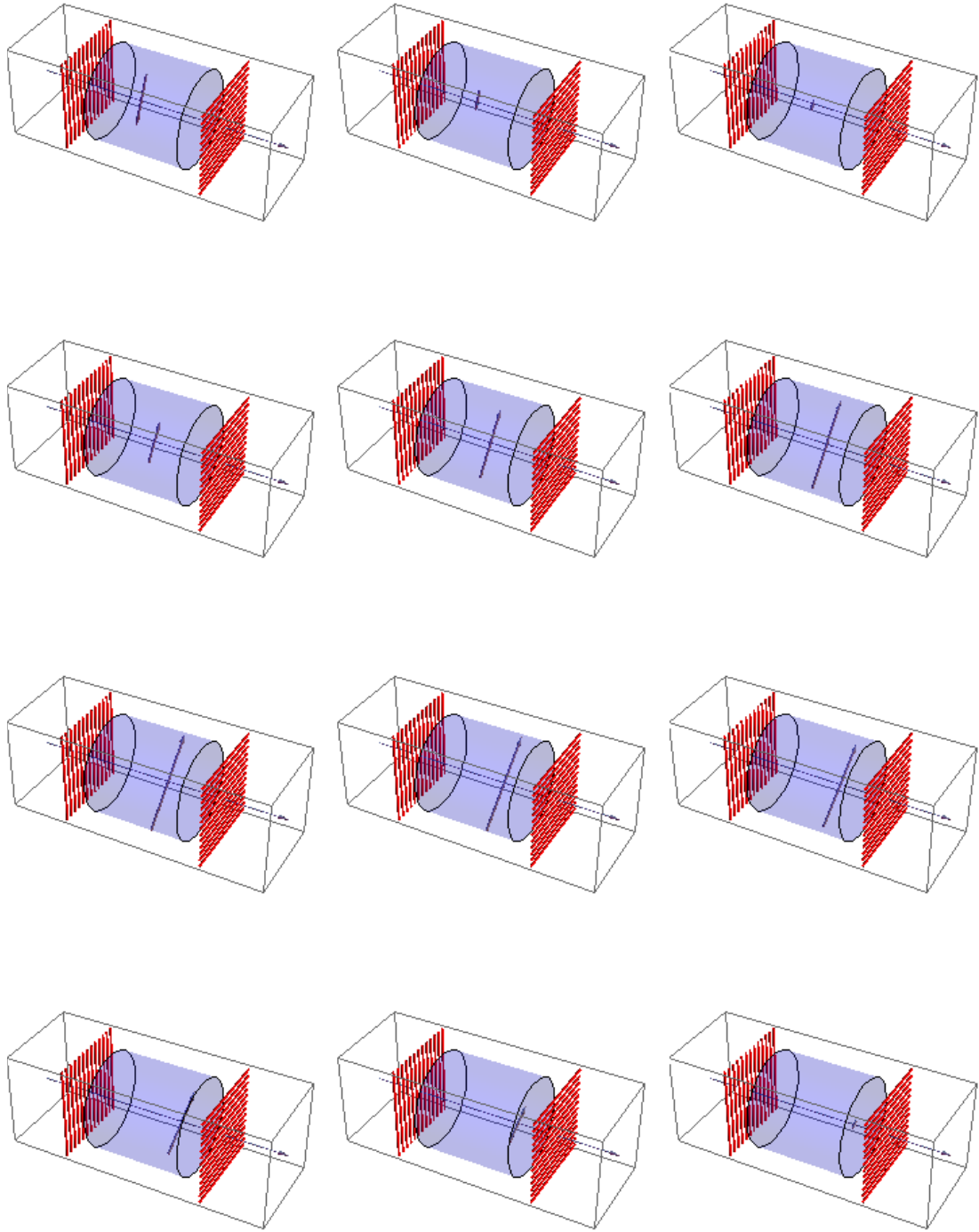
```

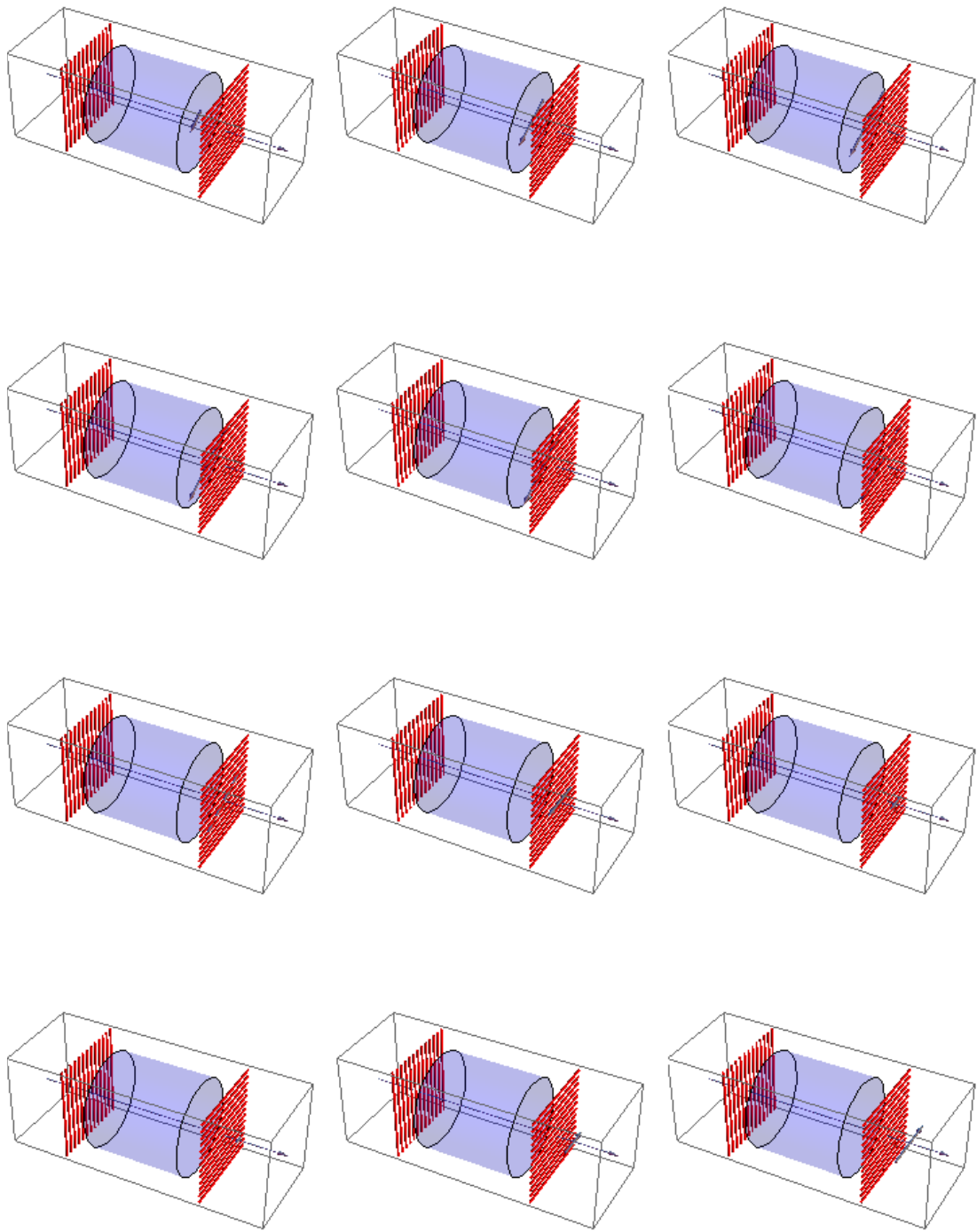
    AngPol2]]]]},
    PlotRange->{{-.2, 5.3}, {-1, 1}, {-1, 1}},
    ImageSize->1000],
    {Densidade, 0, 4}, {t, 1, 50}]]];
Export["MeioAtivo.gif", MeioAtivo]

```

Esta animação tem 250 imagens seqüências, sendo 50 para cada uma das cinco diferentes densidades (0, 1, 2, 3, 4) para o meio óptico. Para exemplificar na Figura 2.10 são mostradas as 50 imagens para uma densidade de um, que rotaciona a luz em 67,5°.







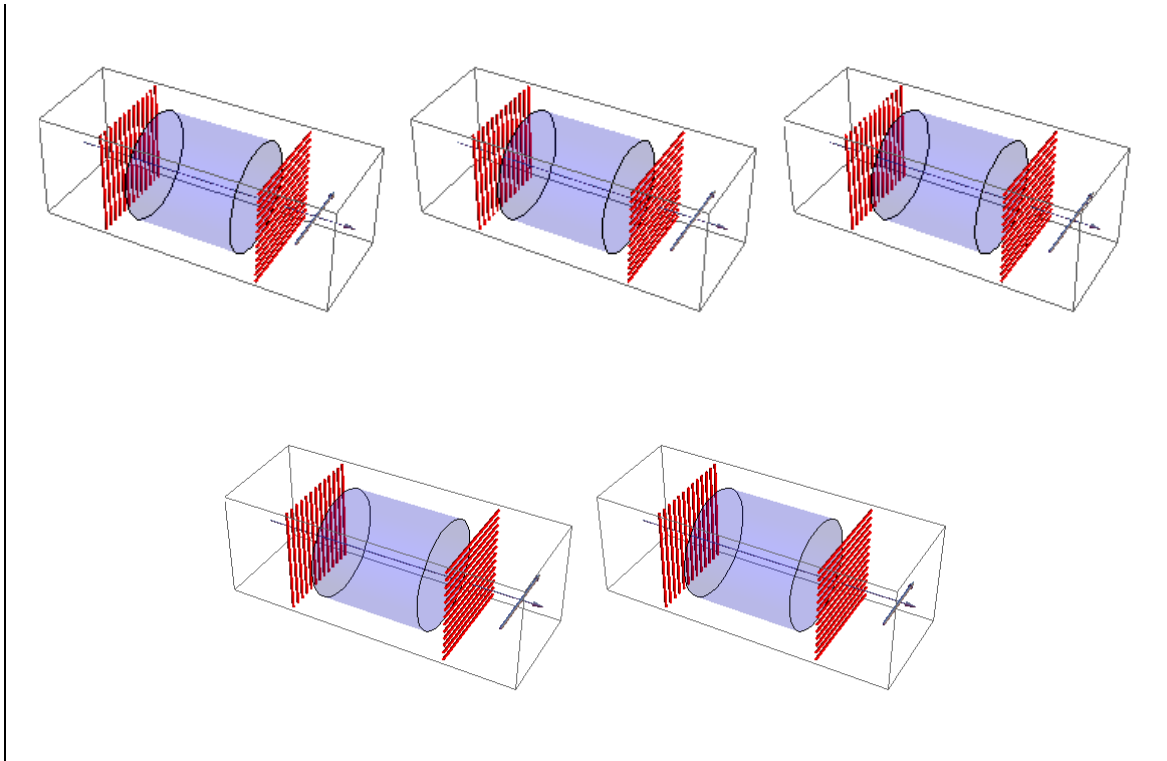
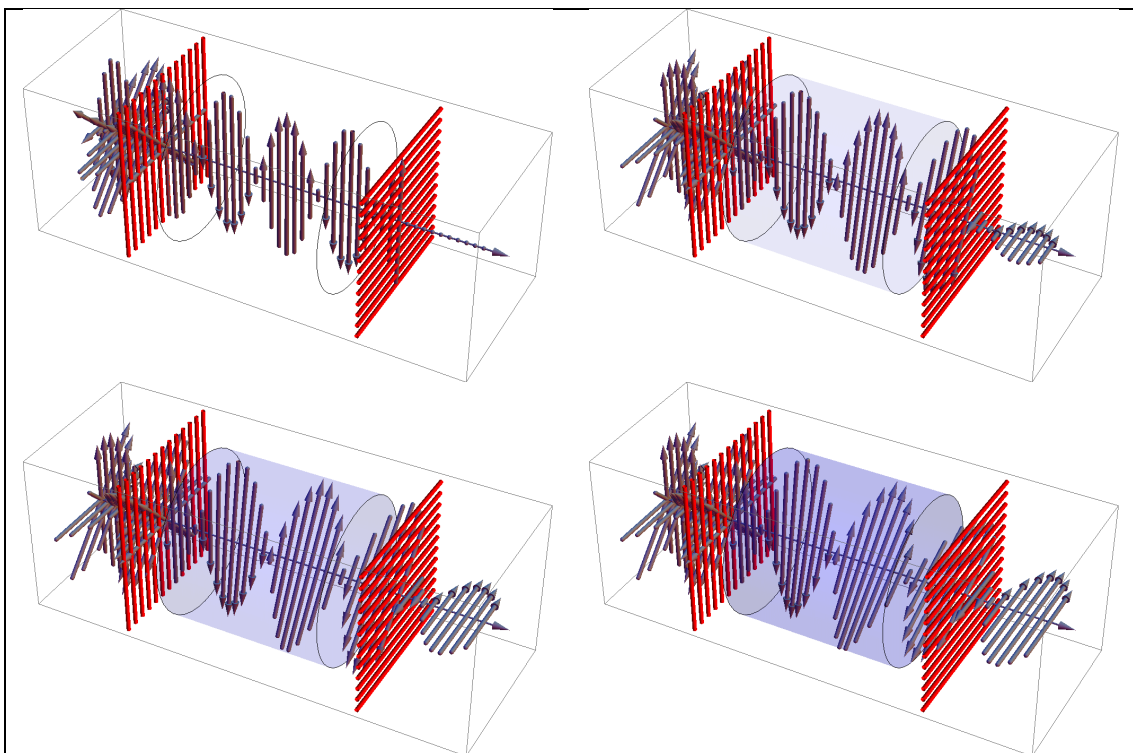


Figura 2.10 - Sequência de 50 imagens do arquivo animando da propagação da luz através de dois polarizadores cruzados, separados um meio ativo que rotacional a luz em $67,5^\circ$.

Concatenando as imagens de simulações de luz polarizada atravessando dois polarizadores cruzados, separados um meio ativo que rotacional a luz temos as imagens da Figura 2.11.



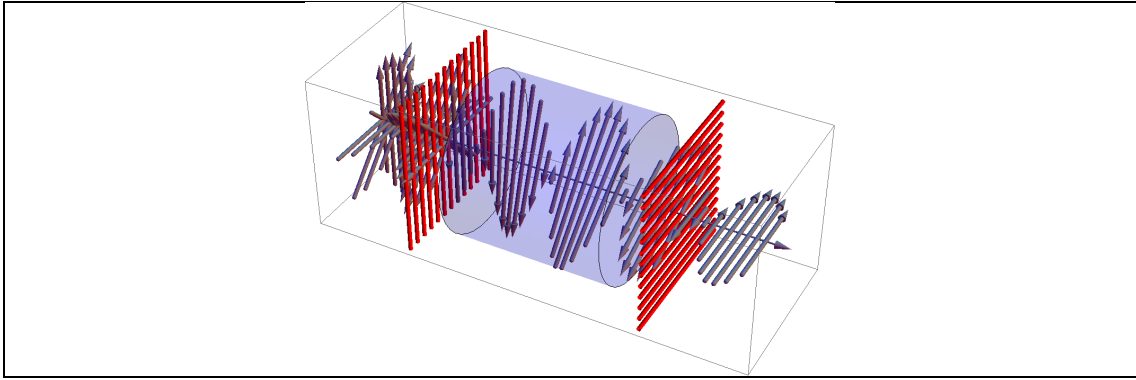


Figura 2.11 - Imagens de uma luz não polarizada atravessando dois polarizadores cruzados, separados um meio ativo que rotacional a luz.

3. SEQUENCIA DIDÁTICA

DISCIPLINA: Física

TEMA: Aprendendo polarização da luz e ondas eletromagnéticas através de demonstrações, experimento e simulações didáticas.

OBJETIVO: Compreender o fenômeno de polarização da luz, através de simulações e experimento, bem como relacioná-lo com fatos do nosso cotidiano.

PÚBLICO ALVO: O conteúdo pode ser ministrado com alunos da terceira série, no final do último bimestre, como ser desenvolvido com alunos da 2ª série, ambos do ensino médio.

DURAÇÃO TOTAL: 04 horas aulas

3.1. Aula 01: Noções Básicas de Ondas Eletromagnéticas e Polarização

Duração: 02 horas (100 min)

1º Momento: Introdução às Ondas Eletromagnéticas

Duração: 20 min

Iniciar a aula perguntando para os alunos: Por que as pessoas utilizam dos óculos com polaroide? Como alguns fotógrafos conseguem tirar a foto sem ter a interferência na imagem do reflexo da Luz?

Através destes questionamentos o professor tenta capturar o que os alunos têm de conhecimento prévio sobre o conteúdo. Acredita-se que nem todos os alunos saibam da diferença de um óculo normal para um com polaroide, ou que nunca tenha ouvido falar sobre o mesmo, porém o professor tem que gerar na classe uma boa discussão em torno da diminuição do reflexo de luz ao ser tirado uma foto em um lugar com muita interferência de luz. Porém se muitos alunos não tiverem certeza da resposta correta, pode ser mencionado para eles que até o final da aula eles terão uma resposta plausível sobre as mesmas.

Em seguida o professor realiza uma explanação sobre ondas eletromagnéticas, e para a turma fixar melhor o conteúdo pode ser utilizado um vídeo que fale sobre o assunto

e ao término realizar um debate em sala sobre as ondas eletromagnéticas presentes no cotidiano de cada indivíduo. O correto será utilizar de um vídeo que traz várias situações de ondas eletromagnéticas no cotidiano do aluno.

Deixo aqui como indicação o vídeo intitulado “Ondas Eletromagnéticas - parte I”, que pode ser encontrado no site: https://youtu.be/t6fOIQimm_Y, tem uma duração de 11,44 minutos, porém fica a escolha do professor se quer passar o vídeo por completo ou só apenas os cinco primeiros minutos que fala da presença das ondas eletromagnética no dia a dia.

Logo após utilizar um Datashow, para apresentar ao aluno figuras de ondas eletromagnéticas, demonstrando o sentido e velocidade de propagação das mesmas, salientar que os campos elétrico e magnético estão perpendiculares entre si e perpendiculares à propagação da mesma, ilustrada pelas Figuras 3.1 e 3.2.

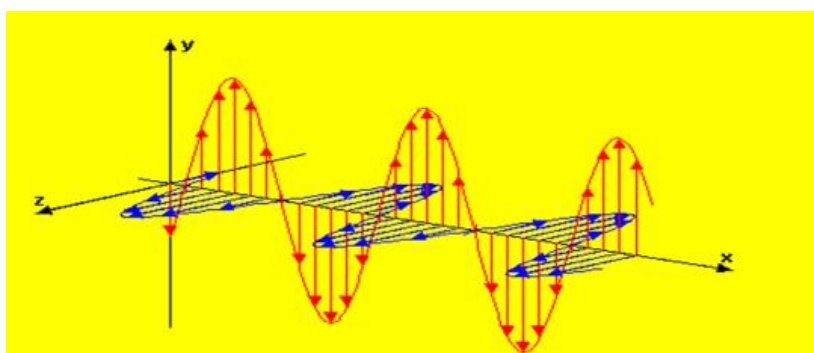


Figura 3.1 - Ilustração de uma onda eletromagnética propagando [6].

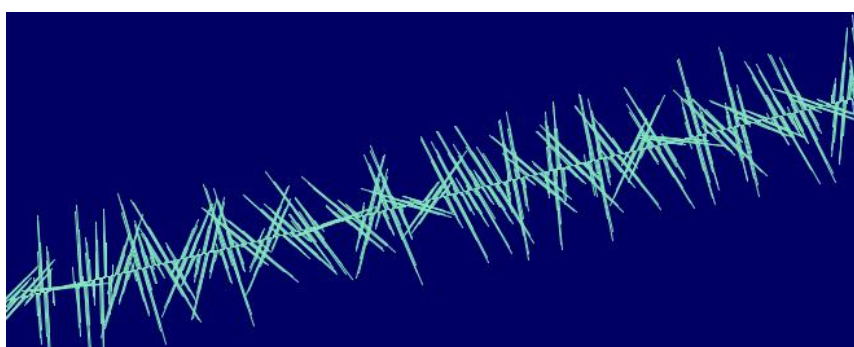


Figura 3.2 - Ilustração de uma onda eletromagnética propagando[7].

2º Momento: Luz Polarizada e Não Polarizada

Duração: 20 min

Apresentar para o aluno a luz como uma onda eletromagnética não polarizada, mostrar a Figura 3.3, onde o campo elétrico e campo magnético vibram em todas as direções possíveis. Pedir para eles citarem exemplo de onda eletromagnética não polarizada.

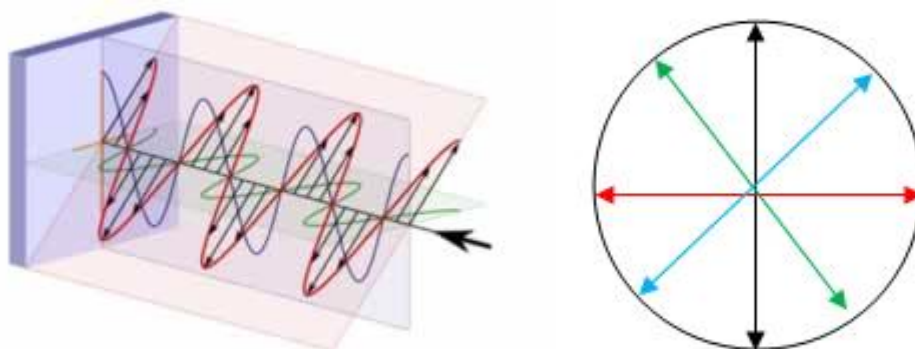


Figura 3.3 - Ilustração de uma onda eletromagnética não polarizada. [8]

Apresentar a Figura 3.4 aos alunos e perguntar: Como posso obter uma luz como na figura, com uma onda eletromagnética polarizada, isto é, emitindo onda em um único plano?

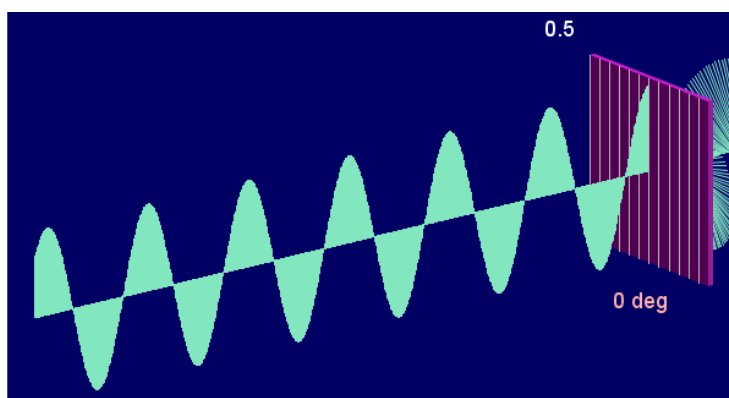


Figura 3.4 - Ilustração de uma onda eletromagnética polarizada por um polarizador[7].

3º Momento: Apresentação do Polarizador

Duração: 10 min

Apresentar aos alunos filtros polarizadores de baixo custo (US\$ 0,99), que pode ser adquirido pelo ebay.com, como os mostrados na Figura 3.5. Explicar a estrutura de um polarizador e a sua contribuição para o cotidiano do mesmo. Acredita-se que neste

momento os alunos já tenham condições de responder as perguntas feitas no início da aula.



Figura 3.5 – Filtro polarizador de baixo custo.
Fonte: “Linear polarization slide polarizer” in www.ebay.com.

4º Momento: Uso do Polarizador

Duração: 20 min

A turma pode ser dividida em grupos de quatro a cinco alunos e entregar a cada grupo um filtro polarizador para os mesmos manusearem e observarem a quantidade de luz que passa quando coloca um polarizador na frente da mesma. Pedir para eles fazerem uma breve discussão sobre o ocorrido.

Apresentar aos alunos a simulação da propagação de uma onda eletromagnética não polarizada (Figura 3.6), criadas através do software de Mathematica®. Também apresentar as animações (Figura 3.7) mostrando a luz não polarizada passando por um polarizador em diferentes ângulos.

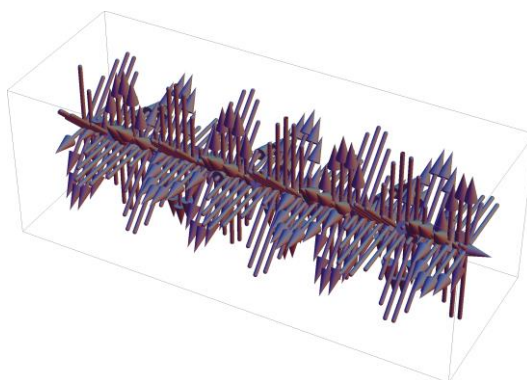


Figura 3.6: Simulação da propagação de onda eletromagnética não polarizada

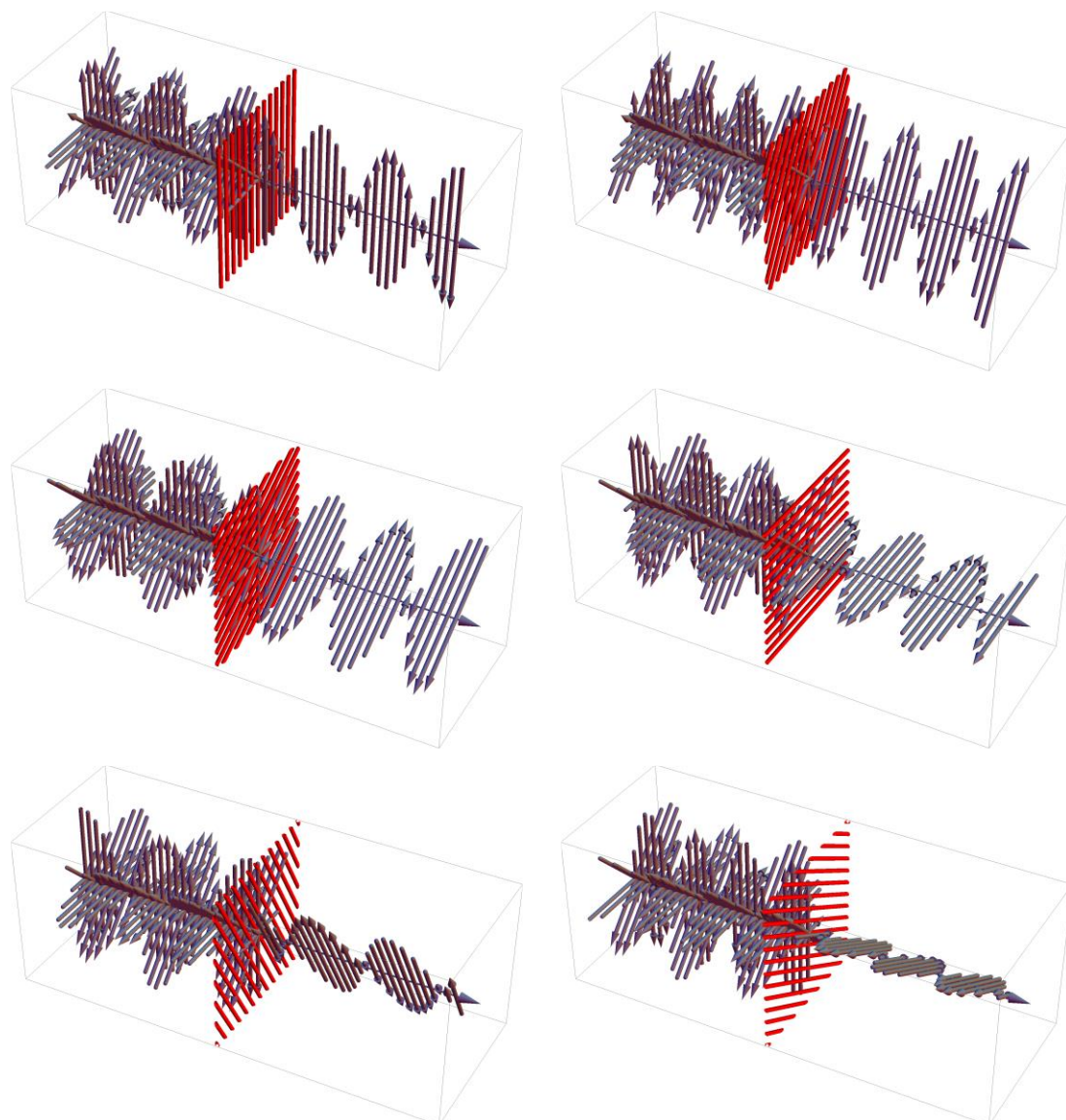


Figura 3.7: Simulações de onda eletromagnética passando por polarizadores com diferentes ângulos (0° , 30° , 60° , 90° , 120° e 150°).

Depois solicitar aos grupos que discutam e descrevam o que eles entenderam a respeito do conteúdo, especialmente sobre a intensidade da luz após atravessar o polarizador com diferentes ângulos.

5º Momento: Uso de Dois Polarizadores

Duração: 20 min

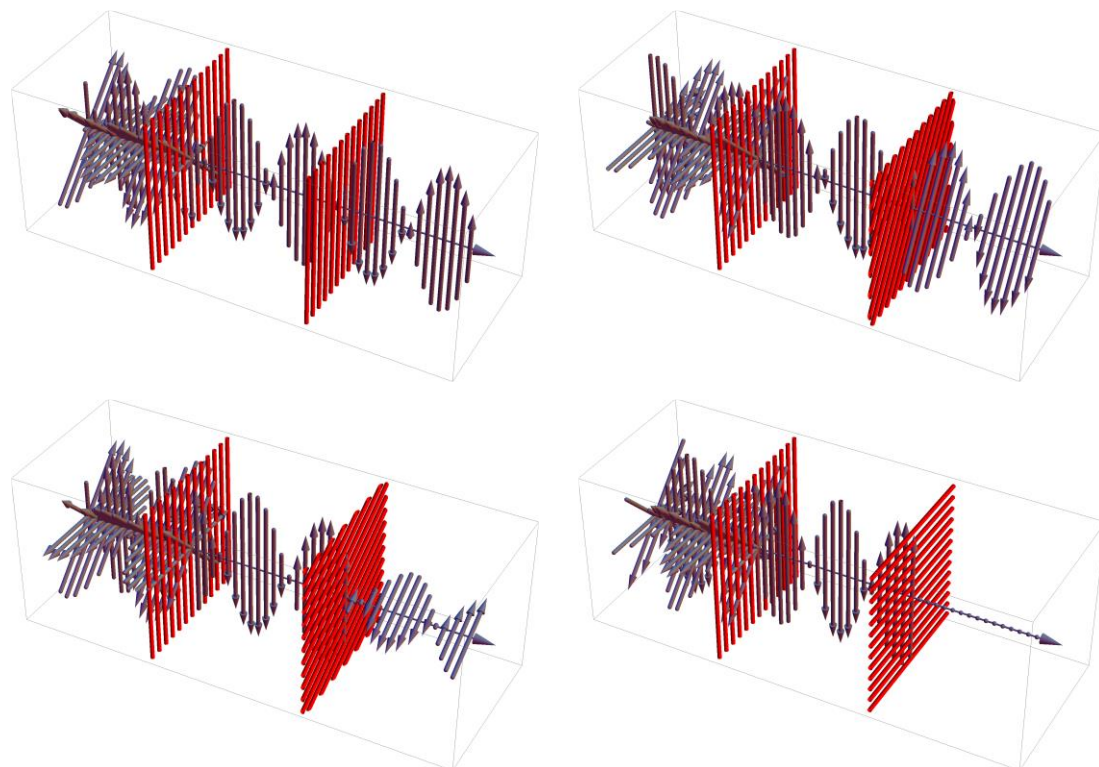
Entregue para os grupos outro filtro polarizador, totalizando dois por grupo e convide-os para que visualizem e analisem qualitativamente a intensidade da luz que

passa por dois polarizadores, observar principalmente a relação da intensidade de luz em relação ao ângulo dos polarizadores.

Como não é do conhecimento do professor o que o aluno já tem no seu cognitivo sobre o conteúdo de Ondas eletromagnéticas e Luz polarizada, está sendo utilizado os polarizadores e as demais ferramentas, como organizadores prévios segundo a perspectiva de Ausubel.

Pedir, então, que os grupos realizassem uma discussão do que observam com a fonte luminosa atravessando os dois polarizadores, antes da apresentação de figuras do software de Mathematica®. Através destes relatos é possível o professor verificar se os alunos já conseguem visualizar através da observação com os polarizadores, que conforme variam os ângulos entre os mesmos, varia a intensidade de luz que ultrapassa entre eles.

Com o objetivo de os grupos assimilarem bem o conteúdo, pode ser pedido que cada indivíduo estabeleça uma relação entre o seu conhecimento do senso comum com o novo aprendizado, com o professor disponibilizando ainda, outra ferramenta para os alunos como organizador prévio, as simulações (Figura 3.8), criadas através do software de Mathematica®, onde mostra a intensidade de luz que é transmitida através de dois polarizadores, conforme o ângulo entre os mesmos.



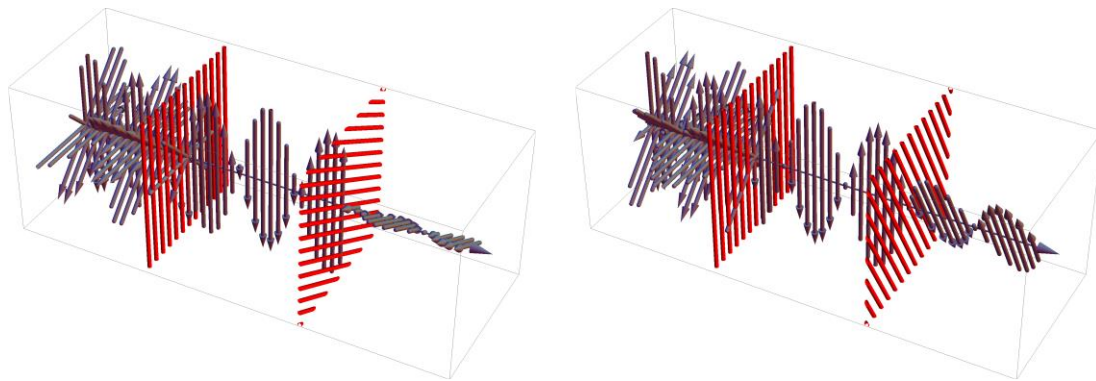


Figura 3.8: Simulações de onda eletromagnética passando por dois polarizadores com diferentes ângulos (0° , 30° , 60° , 90° , 120° e 150°).

Depois dessa explanação o professor pode solicitar aos grupos que discutam e descrevam o aprendizado assimilado sobre polarização da luz através de dois filtros polarizadores. Assim o professor pode averiguar se os alunos assimilaram bem a relação entre intensidade que passa pelos polarizadores com os ângulos entre eles

6º Momento: Uso de Três Polarizadores

Duração: 20 min

Entregar para os grupos um terceiro filtro polarizador e solicitar que cada equipe visualize e analise qualitativamente a intensidade da luz que passa por três polarizadores, observando principalmente a relação da intensidade de luz em relação ao ângulo dos polarizadores, mantendo o primeiro e o último fixo e girando o do centro, depois mantendo o do centro fixo e girando o último. Enfim, pedir para rotacionarem os polarizadores e observarem a intensidade de luz que é transmitida através dos mesmos conforme o ângulo e que em seguida façam uma discussão do ocorrido e apresentem para os demais grupos.

Em seguida apresentar para os alunos as simulações (Figura 3.9), criadas através do software de Mathematica®, onde mostra a intensidade de luz que é transmitida através de três polarizadores, conforme o ângulo entre os mesmos.

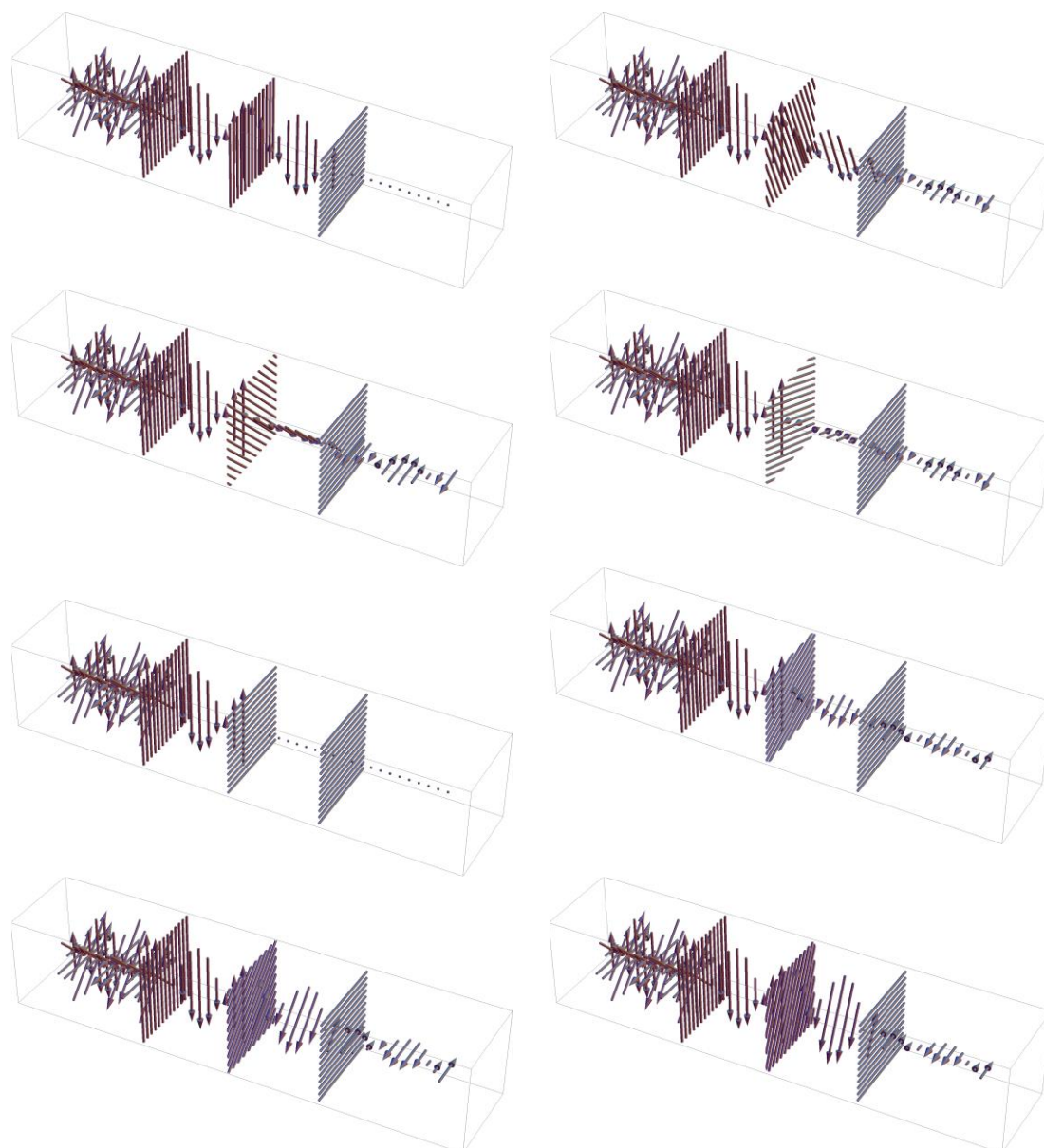


Figura 3.9: Simulações de onda eletromagnética passando por três polarizadores com diferentes ângulos (0° , 22.5° , 45° , 67.5° , 90° , 112.5° , 135° e 157.5°).

Depois dessa explanação solicitar aos grupos que discutam e descrevam novamente o aprendizado assimilado sobre polarização da luz através de três filtros polarizadores, agora com a ajuda das simulações.

O professor tem que focar bem a ideia que se os polarizadores estiverem 90° entre si não vão transmitir luz para o observador, e também que a intensidade de luz que ultrapassa o polarizador, vai depender do ângulo entre os três polarizadores, podendo variar seus ângulos e automaticamente também varia a intensidade de luz que é transmitida.

Através deste primeiro dia de aula, acredita-se que os alunos sairão realizados e assimilados melhor o conteúdo sobre onda eletromagnética e luz polarizada, em relação

ao momento em que iniciou a aula, pois trabalhar com várias metodologias juntas (teoria, observação e simulação), só tem a ganhar tanto aluno quanto professor no processo de aprendizagem.

Avaliação

A avaliação ocorrerá durante todo o tempo em sala de aula, sendo dividida em dois momentos:

- Avaliar a participação, interesse e cooperação dos alunos no desenvolvimento dos debates, situações problemas durante a aula e participação nas atividades em sala com os filtros polarizadores.
- Avaliaram-se também as atividades que forem entregues pelos grupos no final da aula.

3.2. Aula 02: Aplicações e Experimentos com Polarização e Polarizadores

Duração: 02 horas/aulas (100 min)

1º Momento: Monitor de Cristal Líquido sem um dos Polarizadores

Duração: 25 min

Para este momento o professor terá que ter em mãos um monitor com um dos filtros polarizador retirado.

Conectar em um notebook um monitor externo que teve um dos filtros polarizadores retirado, demonstrando para os alunos uma tela clara, sem aparecer imagem (Figura 3.10). Levando-os a se questionarem se sabe a razão pela qual não conseguem visualizar nenhuma imagem na tela, já que o computador estava ligado.

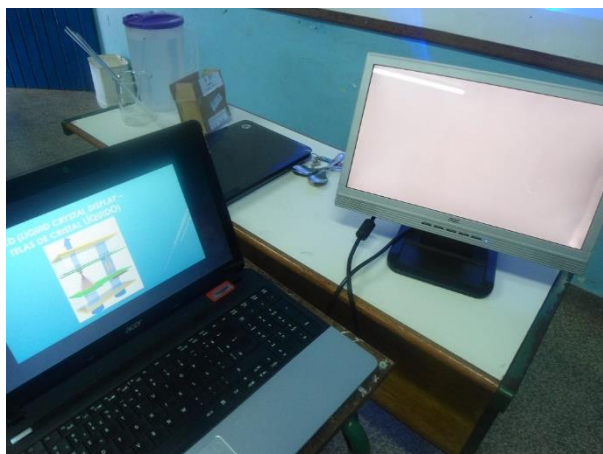


Figura 3.10 - Monitor de Cristal Líquido (LCD) com polarizador de saída retirado.
Fonte: autor.

Neste momento deixar os alunos expressar suas soluções para o problema da tela sem imagem, porém eles podem não saber certo o motivo. Com isso o professor pode entregar para cada integrante do mesmo grupo formado na aula anterior um polarizador, e solicitar para as equipes a irem à frente do computador e visualizar através do polarizador a tela do computador de LCD (Liquid Crystal Display – Telas de Cristal Líquido) e depois retornarem aos seus lugares, e realizar uma discussão em grupo sobre o ocorrido, mas solicitar que não falem nada em voz alta até que os demais grupos visualizem, para não interferir no aprendizado dos outros grupos já que nem todos ainda não visualizaram a tela com o filtro polarizador.

No momento que eles não conseguem visualizar a imagem, o computador estará ligado com a Figura 3.11 na tela, porém eles só conseguirão visualizar com o filtro polarizador (Figura 3.12).

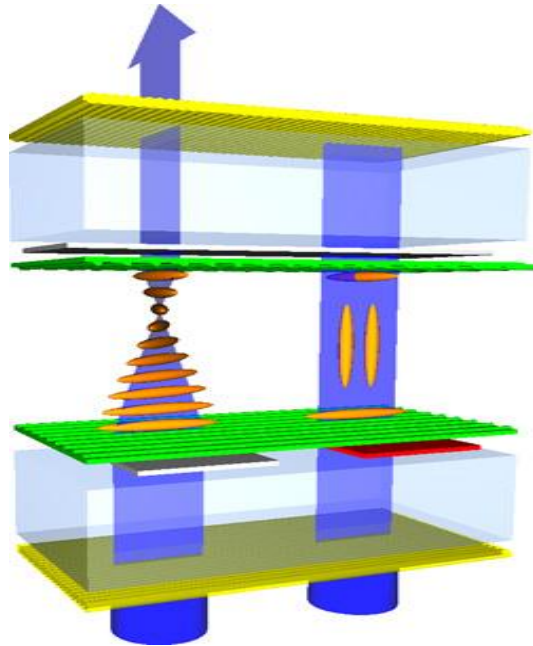


Figura 3.11 - Princípio de funcionamento dos monitores de cristal líquido (LCD)[9].



Figura 3.12 - Visualização da imagem monitor LCD sem polarizador através de filtros polarizador. Fonte: autor.

Depois que todos os grupos visualizarem a tela de LCD através do polarizador, e entregarem uma síntese do que observaram, levando em consideração o que já haviam aprendido na aula anterior, solicitar para cada grupo que apresente de forma rápida, para os demais grupos, o que visualizaram e respondam as seguintes perguntas: Qual seria então a solução do computador para voltar a aparecer a imagem? Qual seria o defeito do mesmo?

Após esta breve discussão, realizar uma explanação da grande importância dos polarizadores para a tecnologia, mencionando sua presença nas telas LCD (Liquid Crystal Display - Telas de Cristal Líquido), nos televisores, nos computadores, nos dispositivos

portáteis como: celulares, câmeras digitais, laptops, calculadoras, relógios digitais, games entre outros. O professor também pode aproveitar a figura para falar sobre estas telas, do que elas são constituídas e como acontece o processo dentro dela para fazer chegar até os nossos olhos a imagem.

Neste momento acredita-se que os alunos já tenham um organizador prévio sobre o conteúdo, e esta atividade servirá como diz Ausubel, como organizador prévio para fazer conexão entre o que o aluno já tem na sua estrutura cognitiva com o novo aprendizado.

2º Momento: Rotação da Polarização por Meio Ativo (Açúcar)

Duração: 40 min

Neste momento cada grupo desenvolverá em sala de aula uma experiência que está no Capítulo 4. Roteiro Experimental, com a descrição dos materiais utilizados e procedimento. Tendo como objetivo visualizar a rotação da polarização por moléculas, através da mistura de água com sacarose (açúcar).

O experimento consistirá em cada grupo realizar uma mistura na qual tem uma solução de água com açúcar e através desta observar a intensidade de luz que é transmitida. Esta solução será um meio ativo colocado entre dois filtros polarizadores cruzados (ângulo de 90°). Será observado que quando a luz é transmitida para o visualizador, ela não aparece como deveria, ao passar por dois polarizadores cruzados, pois a solução de sacarose muda (gira) a polarização da luz. Mudando-se o ângulo entre os dois polarizadores é visualizada a intensidade de luz (Figura 3.13).



Figura 3.13 - Análise da rotação do plano de polarização (atividade óptica) por solução de sacarose (açúcar). Fonte: autor.

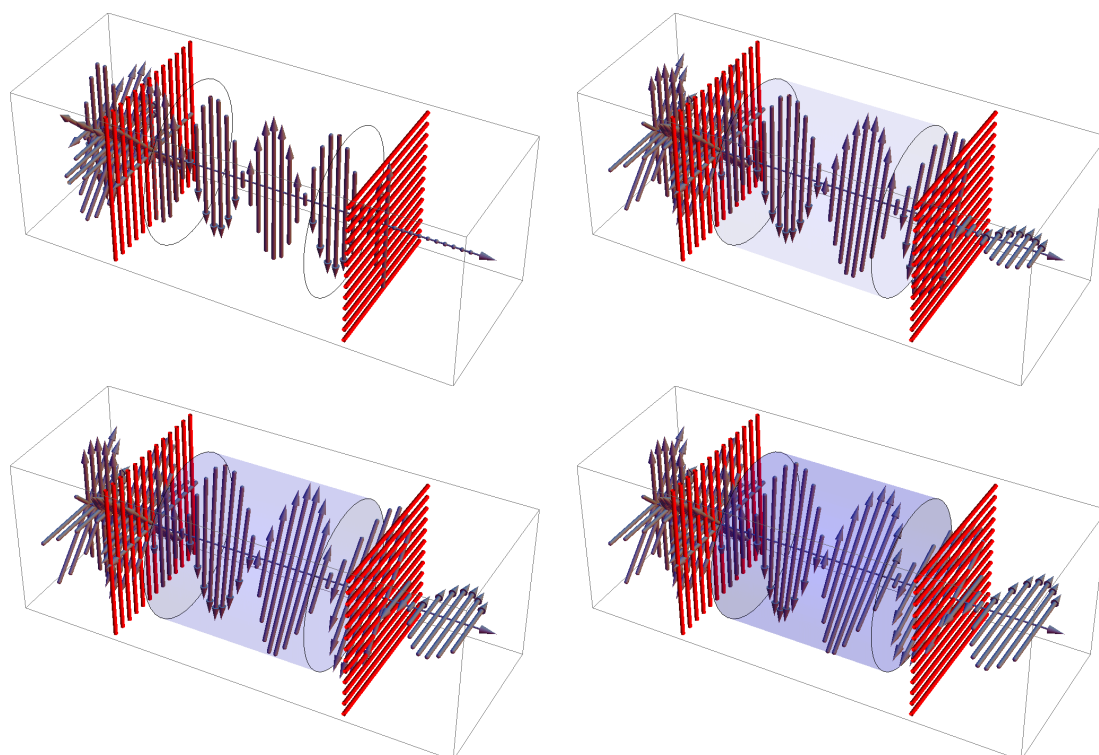
Grande será a satisfação do professor em observar nos grupos o entusiasmo e o prazer em estar aprendendo e ao mesmo tempo se divertindo. É a satisfação de estar descobrindo algo novo.

Depois que os alunos realizarem o experimento será pedido para cada grupo descrever o que observou conforme inseria mais açúcar, bem como o que observava conforme mudava o ângulo do último polarizador. Apresentando os resultados também para os demais grupos.

3º Momento: Simulação da Rotação da Polarização por Meio Ativo

Duração: 15 min

Através de simulações criadas por meio do software de Mathematica®, o professor mostra que conforme a quantidade de sacarose presente na solução, será a influência da mesma no ângulo da luz que sai da solução e que incide no último polarizador que é chamado de analisador. Isto influencia na quantidade de intensidade de luz que será transmitida para o observador (Figura: 3.14).



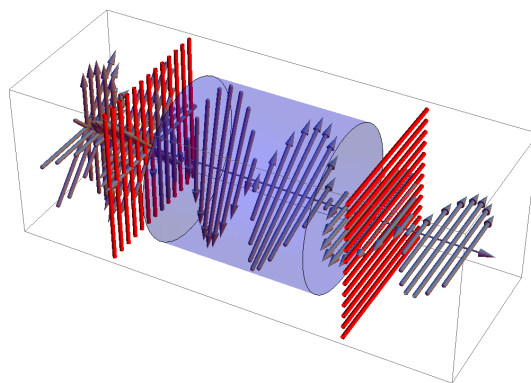


Figura 3.14: Simulações da mudança na polarização por meio ativo. Fonte: autor.

Pode ser comentado aos alunos que quando os dois polarizadores fazem 90° entre si, praticamente não transmite intensidade luminosa, porém quando colocado uma solução de água com açúcar entre eles, o analisador (último polarizador) passa a transmitir uma pequena quantidade de luz, porém conforme a simulação, aumentando a concentração de açúcar o meio ativo (solução de sacarose), faz com que a intensidade de luz seja polarizada conforme as moléculas presentes na solução aumentam a rotação da polarização da luz.

Também pode ser comentado com os alunos que grandes indústrias que possuem como produto a cana de açúcar, utilizam deste princípio óptico, para distinguir a qualidade do caldo da cana de açúcar e definir sua utilização, conforme o teor de açúcar.

4º Momento: Mapa Conceitual

Duração: 20 min

Pedir para cada grupo relatar sobre o experimento realizado e agora com mais a explicação do professor e com o auxílio da animação, o que enfim eles assimilaram sobre o conteúdo ministrado no dia de hoje, expliquem o experimento de polarização através da sacarose, descrevendo sobre o nível de concentração, os ângulos nos quais tem menor e maior intensidade de luz, e entregarem estes relatos.

Por fim, para analisar qualitativamente a assimilação do conteúdo ensinado nestas quatro aulas, solicitar a cada grupo que desenvolva um mapa conceitual sobre o que aprenderam em sala, acerca do conteúdo de ondas eletromagnéticas e polarização da luz.

É interessante que o aluno já tenha aprendido em aulas anteriores sobre mapas conceituais, ou mesmo que o professor faça uma explanação de maneira abrangente aos alunos o conceito do mesmo, que envolva sua estrutura e sequência. Segundo Moreira:

Como instrumento de avaliação da aprendizagem, mapas conceituais podem ser usados para se obter uma visualização da organização conceitual que o aprendiz atribui a um dado conhecimento. Trata-se basicamente de uma técnica não tradicional de avaliação que busca informações sobre os significados e relações significativas entre conceitos-chave da matéria de ensino segundo o ponto de vista do aluno. É mais apropriada para uma avaliação qualitativa, formativa, da aprendizagem[10].

Avaliação

A avaliação ocorrerá durante todo o tempo em sala de aula, sendo dividida em dois momentos:

- Avaliar a participação, interesse e cooperação dos alunos no desenvolvimento dos debates, situações problemas durante a aula e participação nas atividades em sala com os filtros polarizadores.
- Avaliaram-se também as atividades que forem entregues pelos grupos no final da aula.

4. ROTEIRO EXPERIMENTAL

4.1. Experimento de Polarização da Luz / Polarizador

1ª Parte: Dois Polarizadores

OBJETIVOS:

- ◆ Visualizar e analisar qualitativamente a intensidade da luz que passa por dois polarizadores em função do ângulo entre as suas direções de polarizações.

MATERIAIS UTILIZADOS:

- ◆ Polarizadores (dois);
- ◆ Transferidor;
- ◆ Lanterna ou outra fonte de luz não polarizada;
- ◆ Suportes e bases.

PROCEDIMENTOS:

1. Coloque um polarizador em frente à fonte de luz e observe a quantidade de luz emitida através do polarizador;
2. Gire este polarizador e observe se acontece alguma alteração na intensidade de luz que é transmitida pelo observador;
3. Descreva o que foi observado;
4. Coloque um segundo polarizador paralelo ao primeiro e na mesma direção da fonte de luz;
5. Mantenha o primeiro polarizador fixo e gire o segundo;
6. Observe a intensidade luminosa que passa por eles, conforme varia o ângulo entre os polarizadores;
7. Descreva o que está sendo observado com a intensidade de luz, na presença de um segundo polarizador e explique o ocorrido em relação aos ângulos dos polarizadores.

2ª Parte: Três Polarizadores

OBJETIVOS:

- ◆ Visualizar e analisar qualitativamente a intensidade da luz que passa por três polarizadores em função do ângulo entre as suas direções de polarizações.

MATERIAIS UTILIZADOS:

- ◆ Polarizadores (três);
- ◆ Transferidor;
- ◆ Lanterna ou outra fonte de luz não polarizada;
- ◆ Suportes e bases.

PROCEDIMENTOS:

1. Coloque um polarizador em frente à fonte de luz conforme realizado na parte I
2. Coloque um segundo polarizador paralelo ao primeiro e na mesma direção da fonte de luz;
3. Coloque um terceiro polarizador entre o primeiro e o segundo polarizador, mantendo o primeiro e o último na posição de 90° entre si.
4. Gire este terceiro polarizador e observe se acontece alguma alteração na intensidade de luz que é transmitida pelo observador;
5. Descreva o que foi observado;
6. Brinque com os três polarizadores sempre mantendo um ou dois fixos e girando um terceiro, observando sempre o que ocorre.
7. Observe a intensidade luminosa que passa por eles, conforme varia o ângulo entre os polarizadores;
8. Descreva o que está sendo observado com a intensidade de luz, na presença de um terceiro polarizador e explique o ocorrido em relação aos ângulos dos polarizadores.

4.2. Experimento de Mudança da Polarização da Luz pela Sacarose

OBJETIVOS:

- ◆ Visualizar a rotação da polarização por meio ativos, através da mistura de água com sacarose (açúcar).

MATERIAIS UTILIZADOS:

- ◆ Polarizadores (dois);
- ◆ Béquer de 600 ml (ou copo);
- ◆ Sacarose (açúcar refinado);
- ◆ Água;

- ◆ Bastão de vidro (ou colher);
- ◆ Lanterna ou outra fonte de luz não polarizada;
- ◆ Suportes e bases.

PROCEDIMENTOS:

1. Coloque no béquer 180ml de água;
2. Coloque na água $\frac{1}{2}$ xícara (ou 8 colheres de sopa) de açúcar, vá colocando aos poucos e mexendo com o bastão de vidro, para homogeneizar a solução, até dissolver tudo;
3. Quando estiver todo o açúcar dissolvido, deixe o líquido ficar em repouso;
4. Ligue a lanterna e coloque sobre a mesma um polarizador, e sobre o polarizador coloque o béquer com a solução;
5. Coloque um polarizador sobre o béquer, gire-o e observe os ângulos nos quais tem menor e maior intensidade de luz;
6. Descreva o que observou em relação à intensidade de luz.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que com este produto educacional a aula torna-se mais dinâmica, possibilitando ao aluno visualizar um conteúdo de física de maneira concreta, que envolva a realidade na qual eles estão inseridos com os conteúdos pertencentes nos currículos escolares. O professor também pode estar consultando a dissertação e o artigo referente a este trabalho do autor[11], para complementar a compreensão desse fenômeno físico.

Os educadores precisam estar cientes que esta nova geração de adolescentes e jovens com a qual convivemos interessa-se apenas por novidades, por isso se faz necessário abandonar métodos tradicionalistas, abandonar o ensino de física abstrata, e trazer, com o auxílio de tantos subsídios presentes nos livros e mídias, uma física concreta, palpável para que o aluno possa saber o que está aprendendo e o próprio professor possa saber o que está ensinando, e assim possam construir uma nova aprendizagem. Levando a crer que as metodologias de ensino que forem utilizadas em sala nesta sequência didática, só vieram para somar e contribuir para o aprendizado do aluno sobre o conteúdo ensinado.

REFERÊNCIAS

- [1] J. R. V. Fogaça, “Luz Polarizada e Não Polarizada”, disponível em <http://www.alunosonline.com.br/quimica/luz-polarizada-nao-polarizada.html>, acesso em 02 de junho de 2014.
- [2] E. V. Costa, “Medidas de Intensidade Luminosa. Polarização”, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 37 (2002).
- [3] V. Heckler, M. F. Oliveira Saraiva, K. S. Oliveira Filho, “Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica”, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 267 (2007).
- [4] R. C. Viscovini, N. Benedito Lopes, D. Pereira, “Desenvolvimento de software de análise gráfica para planos de radioproteção”, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **33**, 1505 (2011).
- [5] D. T. Alves, J. V. Amaraly, J. F. Medeiros Neto, E. S. Cheb-Terrabx, “Aprendizagem de Eletromagnetismo via Programação e Computação Simbólica”, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 201 (2002).
- [6] W. FENDT, “Elektromagnetische Welle” Disponível em http://www.walter-fendt.de/ph6de/electromagneticwave_de.htm, acesso em 23 de dezembro de 2015.
- [7] “Polarizers”, disponível em: <http://ngsir.netfirms.com/englishhtm/Polarization.htm>, acesso em 23 de dezembro de 2015.
- [8] J. R. V. FOGAÇA, “Luz Polarizada”, disponível em <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/luz-polarizada.htm>. Acesso em 23 de dezembro de 2015.
- [9] C. DESIMPEL, “How can we build a display with liquid crystals?” Disponível em <https://lcp.elis.ugent.be/tutorials/lc/lc3>, acesso em 23 de dezembro de 2015.
- [10] M. A. MOREIRA, “Mapas conceituais e aprendizagem significativa”. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso em 23 de dezembro de 2015.
- [11] M. A. C. dos SANTOS; M. M. PASSOS; S. M. ARRUDA; R. C. VISCOVINI. “Geração de imagens animadas GIF com o Mathematica®: Simulações didáticas de ondas eletromagnética”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 38, no. 1, 1502, 2016.