

# Visualização Científica aplicada à Imagiologia Magnética, Matéria Condensada, Oceanografia e Campos Eléctricos usando a biblioteca Computacional VTK

**Sandra Plecha**

CEHRA e Fac. de Engenharia da Universidade do Porto  
Rua Dr. Roberto Frias s/n, Porto 4200-465, Portugal  
Email: [splecha@fe.up.pt](mailto:splecha@fe.up.pt)

**J.M. Teixeira e A.M. Pereira**

IFIMUP e Departamento de Física da Fac. de Ciências da Universidade do Porto  
Rua do Campo Alegre 687, Porto 4169-007, Portugal  
Email: [jmteixeira@fc.up.pt](mailto:jmteixeira@fc.up.pt), [ampereira@fc.up.pt](mailto:ampereira@fc.up.pt)

**Francisco Paulo M. Oliveira**

Fac. de Engenharia da Universidade do Porto  
Rua Dr. Roberto Frias s/n, Porto 4200-465, Portugal  
Email: [franciscopmliveira@yahoo.com.br](mailto:franciscopmliveira@yahoo.com.br)

**João Manuel R. S. Tavares**

Dep. de Eng. Mecânica e Gestão Industrial, Fac. de Engenharia da Universidade do Porto  
Rua Dr. Roberto Frias s/n, Porto 4200-465, Portugal  
Email: [tavares@fe.up.pt](mailto:tavares@fe.up.pt), url: [www.fe.up.pt/~tavares](http://www.fe.up.pt/~tavares)

**Jorge Manuel G. Barbosa**

Dep. de Eng. Electrotécnica e de Computadores, Fac. de Engenharia da Universidade do Porto  
Rua Dr. Roberto Frias s/n, Porto 4200-465, Portugal  
Email: [jbarbosa@fe.up.pt](mailto:jbarbosa@fe.up.pt), url: [www.fe.up.pt/~jbarbosa](http://www.fe.up.pt/~jbarbosa)

## RESUMO

Neste artigo utiliza-se a biblioteca computacional VTK (*Visualization ToolKit*) em quatro domínios de aplicação distintos: imagiologia magnética, matéria condensada, oceanografia e campos eléctricos. Na área da imagiologia, a aplicação desenvolvida permite realizar algumas operações usuais de processamento de imagem, nomeadamente operações algébricas e de filtragem. No domínio da matéria condensada, foi elaborado um programa que facilita o estudo da estrutura cristalina, a simulação de transições de fase e a interligação entre estrutura cristalina e magnética, representando os momentos magnéticos dos átomos. Para a área da oceanografia, a aplicação desenvolvida permite a visualização de um conjunto de dados, simulando a propagação da ondulação num porto. Em relação à visualização de campos eléctricos, foram elaboradas quatro aplicações didácticas que permitem ilustrar a distribuição e dimensão relativa dos vectores de campo eléctrico em torno dos seguintes objectos: cilindro, esfera, plano e condensador; todos eles com uma determinada carga distribuída uniformemente.

## INTRODUÇÃO

Em muitas das áreas científicas, o manuseamento de grandes volumes de dados é constante, tornando-se imprescindível a visualização dos mesmos, permitindo retirar informação adequada, apenas por análise visual. Este é um dos factores que fazem com que a visualização científica seja actualmente uma área da computação em amplo desenvolvimento e de importância crescente no dia-a-dia nas mais diversas áreas da comunidade científica. Para tal, é necessária a utilização de *softwares*/bibliotecas capazes de criar aplicações gráficas e de visualização de forma não muito complexa. A biblioteca utilizada nas aplicações a apresentar neste artigo é designada por *The Visualization ToolKit (VTK)*, e consiste numa biblioteca de classes de  $C^{++}$  e com interfaces adequadas para várias linguagens de programação, tendo sido desenhada segundo os princípios da programação orientada para objectos [4].

No âmbito da disciplina *Visualização Científica* do *Curso de Mestrado em Métodos Computacionais em Ciências e Engenharia* da Universidade do Porto, utilizou-se a referida biblioteca computacional em quatro domínios de aplicação: imageologia magnética, matéria condensada, oceanografia e campos eléctricos.

Na área da imageologia (visualização de domínios magnéticos), o programa desenvolvido permite realizar várias operações unárias e binárias de processamento de imagem, nomeadamente operações algébricas e de filtragem utilizando as funcionalidades disponibilizadas pela biblioteca *VTK* para processamento de imagem. De entre as operações algébricas (subtracção, adição, divisão e multiplicação) destaca-se a subtracção como das mais relevantes na área da imageologia magnética. A operação de subtracção permite realçar de forma clara a presença dos domínios magnéticos (regiões claras e escuras), contrariamente às imagens obtidas por observação directa, onde é extremamente difícil visualizar a presença destas estruturas magnéticas. A operação de adição também pode revelar-se de extrema importância na eliminação de ruído não correlacionado e de valor médio nulo, que eventualmente possa surgir nas imagens. As operações de filtragem disponíveis no programa são realizadas através de filtros gaussiano, mediana e laplaciano.

No tema da matéria condensada, as simulações computacionais de redes atómicas, magnéticas e moleculares a 3D são uma ferramenta essencial para a compreensão das propriedades macroscópicas dos materiais, auxiliando na interpretação dos fenómenos observados em resultados obtidos experimentalmente. O programa desenvolvido facilita o estudo da estrutura cristalina, a simulação de transições de fase e a interligação entre estrutura cristalina e magnética, permitindo também mover os objectos visualizados, fornecendo novas informações sobre a sua estrutura espacial, segundo diferentes perspectivas.

Já em oceanografia, é necessária a visualização dos dados obtidos em campanhas oceanográficas ou de resultados obtidos através de simulações computacionais. A visualização permite também a interpretação adequada de diversos fenómenos que ocorrem nos oceanos, tais como a refacção e difracção das ondas, devido à variação de profundidades ou devido à presença de obras costeiras. O objectivo principal da aplicação desenvolvida para este domínio é a representação de dados reais de agitação marítima no porto de Leixões, permitindo a visualização dos fenómenos referidos anteriormente. Esses dados estão definidos em ficheiros não estruturados, sendo necessária a sua formatação para ficheiros do tipo *vtk*, de modo a poderem ser considerados pelo programa desenvolvido. Neste caso, os ficheiros são constituídos por um cabeçalho, um conjunto de dados que representam as coordenadas ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) de cada ponto, e um outro conjunto de dados que indica a união dos nós dos polígonos que definem a malha poligonal considerada.

No que respeita à visualização de campos eléctricos, o objectivo principal foi desenvolver material didáctico para ser usado pelo professor ou alunos no sentido de facilitar a estes últimos a compreensão da Lei de Gauss. Assim, foram elaboradas quatro aplicações para representar os vectores de campo eléctrico, superfícies equipotenciais e superfícies gaussianas em torno de cargas eléctricas uniformemente distribuídas nas seguintes situações: num plano infinito, num cilindro infinito, numa esfera e finalmente num condensador com uma determinada energia eléctrica armazenada. Em todos os programas desenvolvidos, o observador tem ao seu dispor

informação sobre os objectos visualizados assim como a possibilidade de interagir com os mesmos.

## MÉTODOS

A estrutura dos programas desenvolvidos, usando a linguagem de programação C++, é muito semelhante para qualquer uma das aplicações consideradas. Assim, no início dos programas existe um conjunto de linhas em código C++, onde são declarados os ficheiros *header* necessários para a definição das estruturas e filtros *VTK* que serão usados. Para todas as aplicações, com excepção da didáctica, é definida no corpo principal do programa uma interface que permite ao utilizador escolher diferentes simulações dentro do mesmo tema em estudo. Depois da definição desta interface, as linhas de comando têm como objectivo principal a criação de um “actor” (mapeamento de dados geométricos e propriedades dos mesmos) que será colocado numa “cena” a *renderizar*, que por sua vez será inserida numa janela de visualização o que permitirá a interacção do utilizador com o “actor” definido. Como já referido, esta sequência é semelhante para as quatro aplicações desenvolvidas e é a utilização usual da biblioteca *VTK*.

Nas aplicações desenvolvidas, o programador pode ainda definir as propriedades do “actor” (por exemplo a sua cor e posição), as propriedades da “câmara” (inserida na “cena” automaticamente), e as características das fontes de luz (também por defeito é incluída automaticamente uma “fonte” de luz na “cena”).

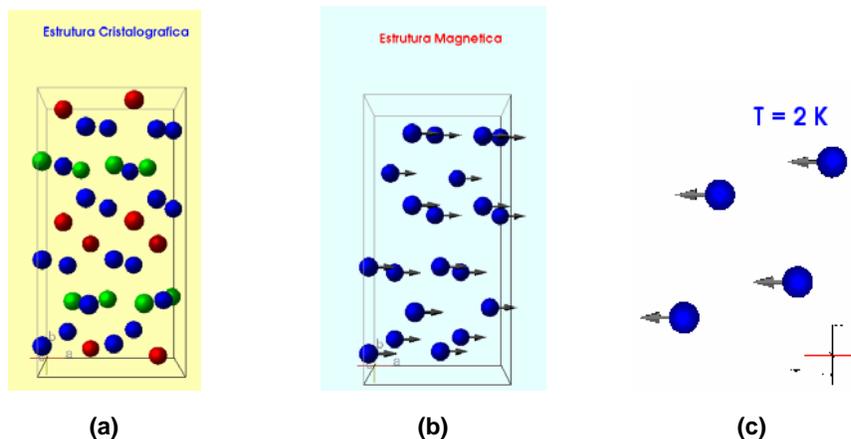
Algumas das classes [1] que foram utilizadas nas aplicações desenvolvidas são descritas de seguida. A classe *vtkPolyDataReader* é utilizada quando é necessário fazer a leitura de dados poligonais definidos em ficheiros. Quando se pretende fazer uma suavização de uma malha poligonal utiliza-se a classe *vtkSmoothPolyDataFilter*. Para fazer o mapeamento dos dados e a criação dos “actores” do tipo poligonal, as classes *VTK* utilizadas são *vtkPolyDataMapper* e *vtkActor*, respectivamente. Os “actores” criados têm de ser colocados numa “cena” a gerar, através da classe *vtkRenderer* e posteriormente as “cenas” definidas têm de ser incluídas numa ou mais janelas de visualização através da classe *vtkRenderWindow*. Para existir interacção entre o utilizador e os “actores” definidos, é necessário utilizar a classe *vtkRenderWindowInteractor*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### MATÉRIA CONDENSADA

O trabalho apresentado nesta secção permite essencialmente a visualização de redes cristalinas, estruturas magnéticas e simulação de transições de fase estruturais que são importantes na área da Física [2]. Para o utilizador especificar o que pretende visualizar, foi definida nesta aplicação um menu com 4 opções. Seleccionando a primeira opção (C) o programa representa graficamente uma célula unitária, a três dimensões, idêntica à que é apresentada na Figura 1(a), permitindo a visualização da estrutura cristalina sob qualquer perspectiva. Para tornar mais fácil a sua utilização, o programa abre automaticamente dados obtidos por raios-X, que estão registados previamente num ficheiro *ASCII*, que contém o nome do elemento químico a que pertence o átomo, a cor e o raio dos átomos. Entre as classes utilizadas destacam-se as classes *vtkPoints* e *vtkCellArray* [1, 4], que serviram para a criação dos parâmetros da célula unitária (formação de um paralelepípedo). Uma outra classe também importante é a classe *vtkAxes* [1, 4], que fornece a posição da origem e factor escala e simetria do sistema. Na segunda opção (M) o programa representa setas nos átomos, que em física podem significar os momentos magnéticos (ver Figura 1(b)). Nesta opção o programa abre novamente um ficheiro *ASCII* que contém dados dos momentos magnéticos (tamanho e direcção) em coordenadas esféricas. Para a criação das setas foi utilizada a classe *vtkArrowSource* [1, 4], que permite criar uma seta que une a base de um cone a uma das bases de um cilindro. Na terceira opção (S) é possível simular transições estruturais que são movimentos de objectos (neste caso átomos). Para isso utilizou-se a classe *vtkMyCallback* [1, 4] que permite criar uma animação, actualizando continuamente o “actor” (com uma frequência desejada). Em muitos

casos é importante a visualização de planos atômicos. Assim, na última opção (H), é possível visualizar dois planos em estados diferentes, neste caso *spins*. Para tal utilizou-se apenas uma câmara que no caso da figura Figura 1(c) encontra-se na posição (0, 10, 0) em coordenadas cartesianas (vista de cima). Todos estas opções têm interacção com o utilizador.



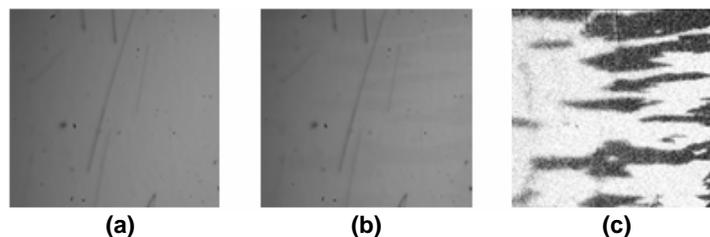
**Figura 1** - Representação gráfica da estrutura cristalina **(a)** obtida para o composto  $Tb_5Si_2Ge_2$ , **(b)** representação dos momentos magnéticos por setas e **(c)** com um único plano visto da posição (0, 10, 0).

## IMAGEOLOGIA MAGNÉTICA

O programa desenvolvido na área da imagiologia magnética utiliza algumas classes disponíveis na biblioteca *VTK* para processamento de imagem. As classes utilizadas nesta aplicação, distintas das descritas anteriormente são *vtkImageMathematics*, *vtkImageThreshold*, *vtkImageGaussianSmooth*, *vtkImageMedian3D* e *vtkImageLaplacian*, para além das classes para a leitura e escrita das imagens *vtkBMPReader* e *vtkBMPWriter* [1, 4], respectivamente.

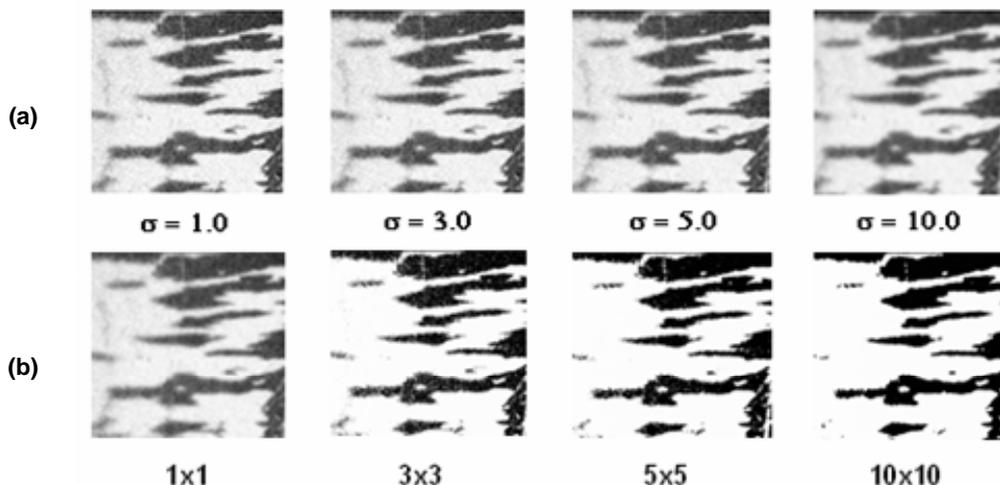
Nesta aplicação [5], o utilizador pode escolher entre operações de processamento unárias e binárias. As operações unárias dizem respeito a operações de processamento realizadas sobre uma única imagem, enquanto que as operações binárias são operações realizadas sobre duas imagens. Consoante o tipo de operação seleccionada, o utilizador pode escolher entre operações algébricas ou de filtragem.

Na Figura 2 estão ilustradas três imagens de *8-bits* cada de domínios magnéticos numa amostra de  $Co_{80}Fe_{20}$  de espessura 200 Å, que se encontra sob acção de um campo magnético variável ao longo do tempo. As imagens da Figura 2(a) e 2(b) são obtidas directamente pela câmara *CCD* em instantes de tempo distintos, enquanto que a imagem da figura 2(c) resulta da subtracção das duas primeiras. Como se pode verificar, esta operação permite salientar claramente a presença dos domínios magnéticos, identificados pelas regiões claras e escuras.



**Figura 2** – **(a)** e **(b)** Imagem de domínios magnéticos adquiridos directamente por uma câmara *CCD* em instantes de tempo distintos. **(c)** Subtracção da imagem (a) pela imagem (b).

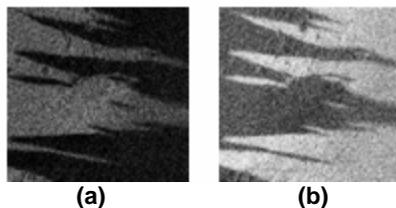
Das três operações de filtragem disponíveis no programa desenvolvido (filtros gaussiano, mediana e laplaciano) foram aplicados à imagem (c) da Figura 2 os filtros gaussiano e mediana. Os resultados obtidos são ilustrados na Figura 3.



**Figura 3 – (a)** Sequência de imagens obtidas após a aplicação de um filtro gaussiano de raio unitário e desvio padrão ( $\sigma$ ) de 1.0, 3.0, 5.0 e 10.0. **(b)** Sequência de imagens obtidas após a aplicação de um filtro mediana de dimensão 1x1, 3x3, 5x5 e 10x10.

A Figura 3(a) mostra uma sequência de imagens obtidas através da aplicação do filtro de Gauss para vários valores do desvio padrão ( $\sigma$ ). Em todas as imagens o raio foi mantido constante e igual à unidade. De acordo com a Figura 3(a), verifica-se a presença de esbatimento para os valores de  $\sigma$  superiores. Por outro lado, a sequência de imagens ilustradas na Figura 3(b), onde foi aplicado o filtro mediana para várias dimensões das janelas (1x1; 3x3; 5x5 e 10x10), mostra que as fronteiras ou contornos dos domínios magnéticos (regiões de transição claro-escuro) são preservadas à medida que a dimensão da janela aumenta.

Como exemplo de aplicação da operação de “threshold”, considere-se as imagens de domínios de 8-bits, representadas na Figura 4. Nesta situação foi aplicada uma operação de “threshold by lower” em torno do nível 128.0 de intensidade. O resultado obtido é ilustrado na figura 4(b). Verifica-se uma inversão dos níveis de cinzento das imagens, o que significa que esta operação atribuiu 0 (zero) à região acima do nível 128 e 1 (um) abaixo desse valor.



**Figura 4 – (a)** Imagem inicial e **(b)** Imagem final após a aplicação da operação “threshold by lower”.

## OCEANOGRAFIA

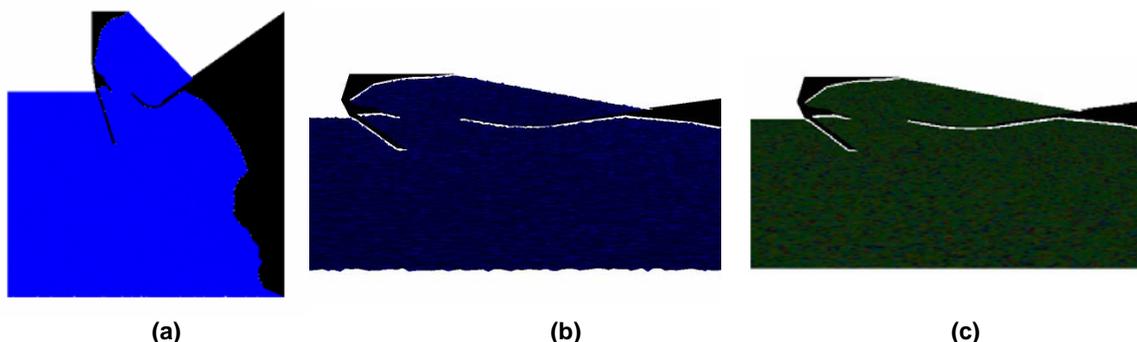
Na aplicação da visualização científica à Oceanografia foram efectuados quatro estudos diferentes [7], que podem ser seleccionados pelo utilizador através de um menu inicial. Ao se seleccionar a opção A, são representadas as amplitudes (elevação da superfície livre) das ondas para um

instante, enquanto que no segundo caso (*opção B*) são representados 4 instantes numa única janela de visualização. No terceiro estudo (*opção C*) são representadas as amplitudes das ondas, novamente para um instante, através de uma gama de cores, facilitando a percepção da posição das cristas e cavas das ondas. No quarto e último caso (*opção D*), é apresentada uma janela de visualização onde são representadas as amplitudes das ondas para diferentes instantes, simulando uma animação.

Nesta aplicação existem dois tipos de ficheiros que têm de ser lidos pela mesma através da classe *vtkPolyDataReader* [1, 4] já referida anteriormente. Um dos ficheiros contém a posição dos pontos terrestres, enquanto os restantes ficheiros contêm os dados de elevação de superfície livre para diversos instantes (cada ficheiro representa um instante). Para esta aplicação, os “actores” terra (dados de pontos terrestres) e mar (dados de elevação da superfície livre) têm de estar na mesma “cena”, reproduzindo o sistema considerado.

Para esta aplicação foi redefinida a posição e ponto focal da “câmara” usada através da classe *vtkCamera* [1, 4], permitindo assim uma visualização mais conveniente para este caso.

A Figura 5(a) ilustra o *output* do programa desenvolvido caso se tivesse utilizado a câmara definida por defeito pelo VTK [1]. Seleccionando a *opção A*, é permitido ao utilizador visualizar um ficheiro de dados de agitação marítima no porto de Leixões, representado na Figura 5(b). Em todas as simulações é possível interagir com o “actor” definido, sendo possível efectuar rotações, ampliações e reduções. Se o utilizador seleccionar a *opção B*, é visualizada a agitação marítima para 4 instantes na mesma janela (cf. [7]). A interacção é feita para os quatro “actores” em simultâneo garantindo que a perspectiva é sempre a mesma em todas as situações. Ao ser escolhida a *opção C*, é representado um ficheiro de agitação marítima, onde as amplitudes da onda estão representadas por cores. O interesse desta aplicação é a possibilidade de identificar automaticamente as cristas e cavas da onda, isto é, as zonas onde a amplitude da onda é maior e menor, respectivamente. Este caso está ilustrado na Figura 5(c). A *opção D* permite ao utilizador visualizar 22 ficheiros com dados de agitação, com um intervalo de tempo predefinido no código do programa (cf. [7]). A vantagem desta opção é a visualização da propagação da agitação marítima e dos fenómenos que ocorrem devido à presença de obras de protecção costeira, os quebramares. Uma desvantagem deste método implementado é a lentidão na representação dos resultados, devido aos ficheiros serem muito extensos.



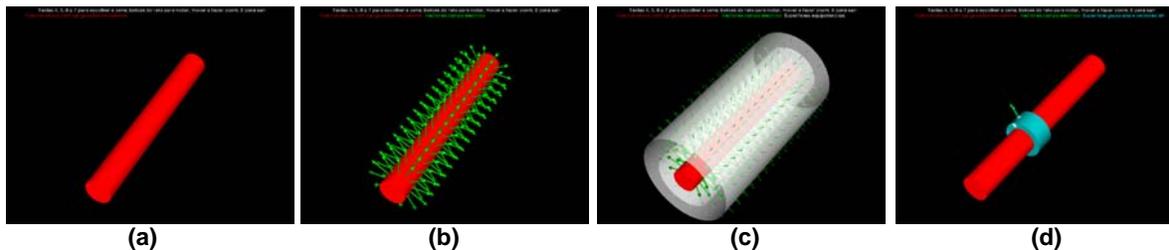
**Figura 5** – Representação dos “actores” terra e mar (elevação da superfície livre) para: (a) a posição da câmara por defeito, (b) um instante, com alteração da posição da câmara e (c) a representação da elevação da superfície livre através de escalares.

## CAMPOS ELÉCTRICOS

Para ilustrar os vectores de campo eléctrico em torno de um cilindro infinito, um plano infinito, uma esfera e num condensador foram construídos quatro programas [3]. Para visualizar o campo eléctrico num determinado objecto, o observador deverá abrir a aplicação correspondente, aparecendo inicialmente apenas o objecto base. Nos casos do plano, cilindro e esfera,

pressionando as teclas indicadas na janela de visualização do programa, o utilizador poderá visualizar os vectores campo eléctrico na superfície do objecto base, algumas superfícies equipotenciais e respectivos vectores campo eléctrico, e uma superfície gaussiana desse objecto base onde estão representados um vector campo eléctrico  $\vec{E}$  e um ou dois vectores  $\vec{dA}$ .

Para se entender melhor os efeitos indicados e ter uma ideia visual do processo envolvido, observe-se a Figura 6 relativa ao caso cilindro.



**Figura 6** – Resultado para: **(a)** cilindro infinito com carga positiva, **(b)** cilindro infinito com os vectores campo eléctrico, **(c)** cilindro infinito com superfícies equipotenciais e respectivos vectores campo eléctrico **(d)** cilindro infinito com superfície gaussiana e respectivos vectores  $\vec{E}$  e  $\vec{dA}$ .

Em relação ao condensador, o observador ao pressionar as teclas sugeridas pelo programa, poderá visualizar as placas que constituem este componente, os vectores de campo eléctrico: isoladamente em cada uma das placas, ou em ambas as placas simultaneamente, ou visualizar o resultado final da interacção dos dois campos eléctricos associados a cada placa.

Em todas as aplicações consideradas aparece na janela de visualização uma legenda a indicar o significado de cada objecto. Além disso, o observador poderá mover os objectos, rodá-los no espaço e aumentar ou diminuir o factor de “zoom” considerado.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foram construídas diversas aplicações computacionais recorrendo-se à biblioteca VTK adequada para o desenvolvimento modelar de sistemas de visualização. A diversidade das aplicações consideradas vem mostrar as enormes potencialidades e versatilidade desta biblioteca, pelo que se julga pertinente a sua divulgação junto da comunidade académica e científica dos mais diversos domínios.

O trabalho desenvolvido abrangeu muitos dos conceitos leccionados nas aulas de *Visualização Científica* do *Curso de Mestrado em Métodos Computacionais em Ciências e Engenharia* da *Universidade do Porto*. Muitas vezes, os exemplos ministrados durante as mesmas foram a maior fonte de inspiração para a resolução dos problemas que surgiam durante o desenvolvimento das aplicações consideradas, mostrando deste modo o acerto na escolha dos mesmos.

## BIBLIOGRAFIA

[1] VTK 4.2.1 Documentation, disponível em <http://www.vtk.org/doc/release/4.2/html/> (2005).

[2] Pereira, A.M., 2005. Visualização da estrutura cristalina e magnética utilizando o VTK, Trabalhos da disciplina de Visualização Científica 2004/2005 – Mestrado em Métodos Computacionais em Ciências e Engenharia, Faculdade de Ciências / Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. (Disponível em <http://www.fe.up.pt/~tavares/ensino/VISCI/visci.html>.)

[3] Oliveira, Francisco Paulo M., 2005. Representação dos Campos Eléctricos em Torno de Cargas Cilíndricas, Esféricas, Planas e num Condensador, Trabalhos da disciplina de Visualização Científica 2004/2005 – Mestrado em Métodos Computacionais em Ciências e Engenharia, Faculdade de Ciências /

Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. (Disponível em <http://www.fe.up.pt/~tavares/ensino/VISCI/visci.html>.)

[4] Tavares, J., Barbosa, J., 2005. Apontamentos da disciplina de Visualização Científica 2004/2005 – Mestrado em Métodos Computacionais em Ciências e Engenharia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (Disponíveis em <http://www.fe.up.pt/~tavares/ensino/VISCI/visci.html>.)

[5] Teixeira, J.M., 2005. Processamento de imagem digital utilizando software VTK, Trabalhos da disciplina de Visualização Científica 2004/2005 – Mestrado em Métodos Computacionais em Ciências e Engenharia, Faculdade de Ciências / Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. (Disponível em <http://www.fe.up.pt/~tavares/ensino/VISCI/visci.html>.)

[6] Pimenta Rodrigues, Pedro Pereira, Manuela Sousa, 1998. Programação em C++, Conceitos Básicos e Algoritmos, 6ª Edição, FCA, Lisboa.

[7] Plecha, Sandra, 2005. Aplicação da visualização científica à oceanografia – Representação da agitação marítima no porto de Leixões, Trabalhos da disciplina de Visualização Científica 2004/2005 – Mestrado em Métodos Computacionais em Ciências e Engenharia, Faculdade de Ciências / Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. (Disponível em <http://www.fe.up.pt/~tavares/ensino/VISCI/visci.html>.)

[8] Moore, Thomas A., 2003. Six ideas shaped physics, Unit E: Electric and Magnetic Fields Are Unified, Second Edition, McGraw-Hill Higher Education, New York.