

SOFTWARE PARA APOIO AO PROJETO DE AMBIENTES RFID APLICADO A MODELOS DE PREDIÇÃO

Leonardo Augusto Sápiras

Faculdades Integradas de Taquara – Faccat – Taquara – RS – Brasil
sapiras@faccat.br

Everton Luís Berz

Professor Orientador

Faculdades Integradas de Taquara – Faccat – Taquara – RS – Brasil
everton@faccat.br

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa experimental que teve por finalidade desenvolver um *software*, denominado RF3D, que pode auxiliar o projeto de ambientes RFID aplicado a modelos de predição, permitindo assim que os problemas existentes, na área de projeto de ambientes RFID, sejam resolvidos com maior facilidade e menor tempo. Os objetos, bem como as suas características, atribuídos ao projeto de ambiente poderão ser personalizados, e todas as informações existentes serão enviadas para um Web Service SOAP, que processará tais informações e devolverá ao RF3D os resultados obtidos.

Palavras-chave: RFID, Web, SOAP, projeto de ambientes.

SOFTWARE TO SUPPORT PROJECT RFID ENVIRONMENTS APPLIED TO PREDICTION MODELS

Abstract

This paper presents the results of a experimental research that had as goal to develop a software, called RF3D, that can help the project of RFID environments applied to models of prediction, allowing this way that the existing problems, in the area of RFID environments project, be solved easier and in less time. Objects, and their features, included in the environment project will be able to be custom, and all the existing informations will be send to a Web Service SOAP, that will process them and will return to RF3D the results.

Keywords: RFID, Web, SOAP, environments' project.

1. Introdução

RFID, ou Identificação por Rádio Frequência, é a denominação para sistemas compostos de dispositivos eletrônicos que permitem realizar identificações, utilizando comunicação por rádio frequência entre os elementos básicos que compõem este sistema: o equipamento interrogador (ou leitor), antenas e as etiquetas de identificação, também conhecidas como *TAGs* (BHATT e GLOVER, 2006).

Pedroso *et al.* (2009) afirma que a tecnologia RFID está em crescente expansão. No entanto, ainda existem diversos problemas que impedem a implantação desta solução, como o alto custo e a necessidade de testes de verificação física, para configurar adequadamente o ambiente onde o RFID será usado.

Para resolver esse problema, se propôs a criação de um *software*, para apoio ao projeto de ambientes RFID, que possibilite a realização de simulações, através de modelos de predição. Tal *software* foi denominado RF3D, fazendo uma analogia as palavras RFID e 3D (três dimensões).

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa experimental que teve por finalidade desenvolver um *software*, denominado RF3D, que pode auxiliar o projeto de ambientes RFID aplicado a modelos de predição, permitindo assim que os problemas existentes, na área de projeto de ambientes RFID, sejam resolvidos com maior facilidade e menor tempo.

O trabalho possui a seguinte estrutura: a seção 2 o referencial teórico, a seção 3 apresenta a metodologia, a seção 4 os resultados obtidos através de alguns experimentos que foram realizados e a seção 5 traz as conclusões do estudo.

2. Referencial teórico

2.1 RFID

A necessidade de identificação automática de produtos e itens existe em diversos ramos comerciais e industriais. Através da identificação automática, é possível obter diversas informações sobre pessoas, animais e produtos. Para isso foram desenvolvidas diversas tecnologias que tem como objetivo realizar tal atividade de forma eficaz. Algumas soluções são: i) Códigos de Barras, utilizado globalmente para identificação de bens, além de possuir diversos formatos e padrões de código; ii) Biometria, realiza a identificação através do reconhecimento de impressões digitais, voz

ou íris; iii) Reconhecimento ótico de caracteres, também conhecido como OCR¹, possibilita a identificação de letras ou palavras; iv) Cartões inteligentes, utilizados em telefones públicos, cartões magnéticos, tais como cartões de crédito, *tickets* de transporte público; v) E a tecnologia RFID. Tecnologias, como Código de Barras, são eficientes, mas necessitam que o código esteja próximo e diretamente apontado para o equipamento leitor. Além disso, tal solução não permite que as informações gravadas na etiqueta sejam alteradas, o que poderia ser útil em determinadas situações (MICROSOFT, 2006).

Segundo Bhatt e Glover (2006), uma das principais vantagens da tecnologia RFID é o fato de a etiqueta não precisar estar apontada diretamente para o equipamento leitor. Dessa forma, produtos existentes dentro de caixas podem ser identificados, sem que seja necessário a abertura desta caixa, e a identificação individual de cada item. Para que a informação existente na etiqueta RFID seja lida, basta que ela esteja a uma determinada distância da antena leitora.

Devido as suas vantagens, o uso da tecnologia RFID está em crescente expansão (ver Figura 1). Diversos ramos de negócio estão fazendo uso desta tecnologia, com destaque para o gerenciamento da cadeia de suprimentos, rastreamento de animais e de itens, segurança, pontos de venda, transporte, pedágios e bibliotecas (PEDROSO *et al.*, 2009).

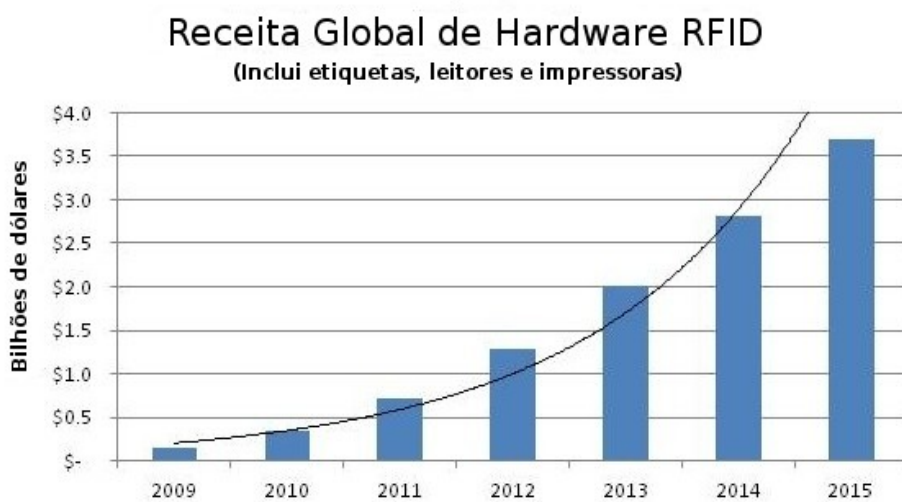


Figura 1: Mercado Global de Hardware RFID
Fonte: Adaptado de VDC Research (2011)

Conforme Bhatt e Glover (2006), um sistema RFID é composto por leitores e etiquetas, tais componentes serão descritos nas sub-seções abaixo.

1 OCR: *Optical character recognition*.

2.1.1 Leitor

O leitor, Figura 2, tem como objetivo obter as informações armazenadas nas etiquetas, realizando a integração com outros sistemas através de suas interfaces de comunicação. Os leitores podem ser portáteis, fixos, ou também estar localizados em dispositivos móveis, como celulares ou PDAs² (WEIS, 2003).



Figura 2: Leitor RFID
Fonte: Polo de Inovação Tecnológica (2011)

Os leitores podem possuir uma antena dentro do próprio equipamento, como mostrado na Figura 3.

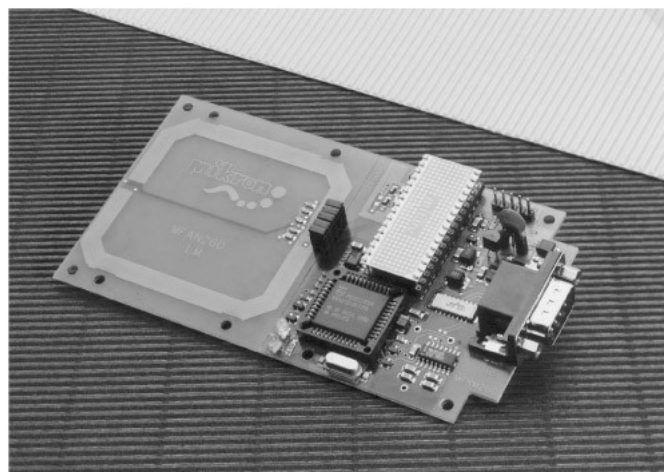


Figura 3: Leitor RFID com antena embutida
Fonte: Finkenzeller (2003, p. 1)

2 PDA: *Personal Digital Assistant*, ou também, assistente pessoal digital.

Os leitores podem também possuir antenas externas, como mostrado na Figura 4. Alguns leitores possuem interfaces para conexão (RS 232, RS 485, etc.) que permitem aos leitores se comunicarem com outros sistemas, tais como computadores e sistema robóticos (BHATT e GLOVER, 2006).



Figura 4: Antena RFID, um dos elementos de conexão do leitor
Fonte: Alibaba (2011)

2.1.2 Etiqueta

As etiquetas eletrônicas, também conhecidas como TAGs, Figura 5, são compostas por uma antena e um circuito integrado com memória e um microchip que é responsável por processar e armazenar os dados. As etiquetas podem permitir apenas leitura (*read-only*), ou leitura e escrita (*read-write*). A capacidade de memória das etiquetas podem variar entre 16 bits a centenas de Kbits de armazenamento. Quando uma etiqueta recebe um sinal de interrogação de um equipamento leitor, os dados armazenados em sua memória são recuperados e transmitidos (AZAMBUJA, 2011).

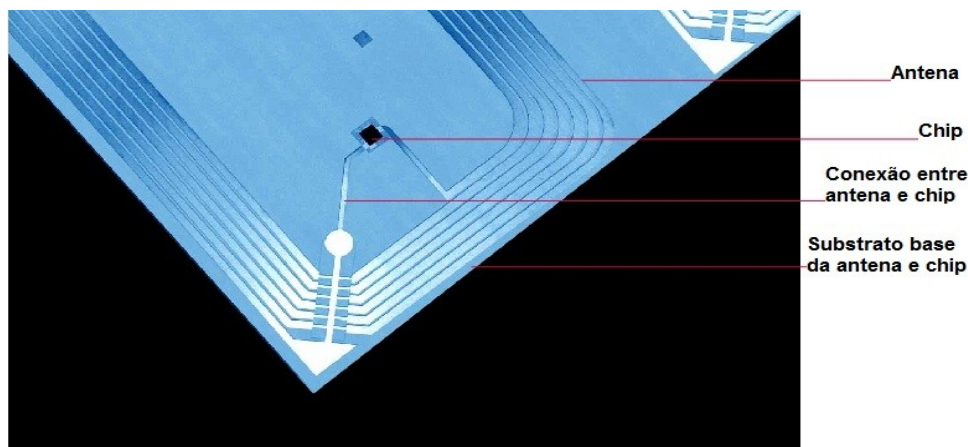


Figura 5: Etiqueta RFID
Fonte: Azambuja (2011)

Segundo Weis (2003) e Prado *et al.* (2006) as etiquetas também podem ser classificadas em uma hierarquia de cinco classes: Classe 0, a mais primitiva das etiquetas, permite apenas leitura, e é geralmente usada para identificar livros. Classe 1, etiquetas desta classe permitem apenas a leitura de sua memória e são geralmente passivas, mas podem ser passivas ou semi-passivas; Classe 2, apesar de permitir apenas leitura, podem ser recicladas, podendo ser passivas, semi-passivas ou ativas; Classe 3 são do tipo leitura e escrita, podendo ser passivas ou semi-passivas, a classe 3 suporta leituras a grandes distâncias; Classe 4, as etiquetas desta classe possuem autonomia para iniciar comunicações; Classe 5, possui as funcionalidades das classes anteriores.

2.1.3 Camadas de um sistema RFID

Em Bhatt e Glover (2006) é descrito a existência de duas camadas em um sistema RFID: a camada física e a camada lógica. A camada física é composta pela antena, pelo hardware do leitor e pela interface de comunicação que ele possui (RS 232, RS 485, RJ 45, Bluetooth, etc...).

A ISO (2006), Figura 6, informa que as faixas de frequência utilizadas pelas etiquetas e antenas são 6.78 MHz, 13.56 MHz, 27.125 MHz, 40.680 MHz, 433.902 MHz, 869.0 MHz, 915.0 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz e 24.125 GHz.

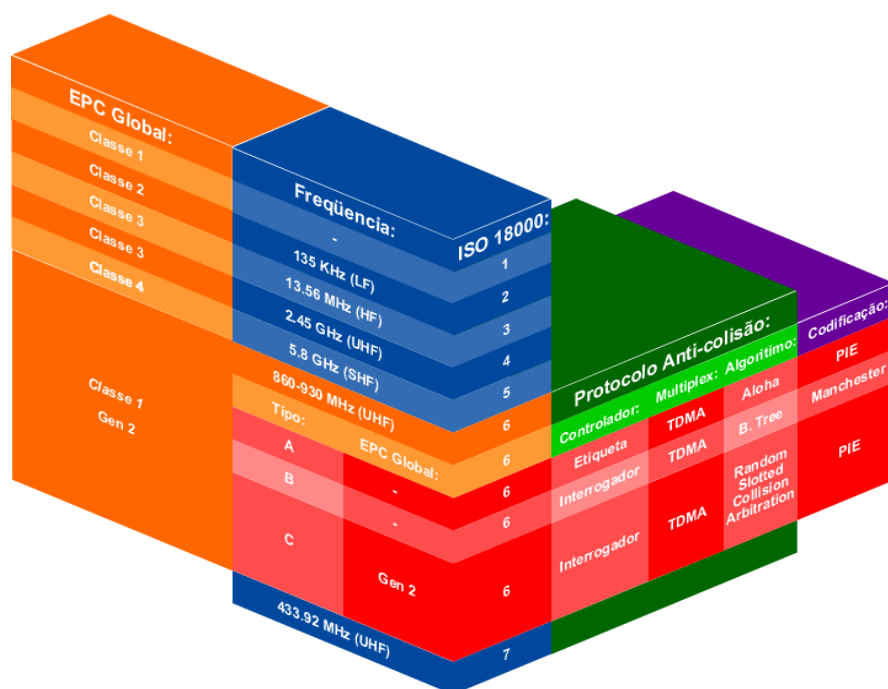


Figura 6: Classes EPCGlobal
Fonte: Azambuja (2011)

A potência máxima pode estar condicionada à legislação vigente do país ou região. Por exemplo, no Brasil a potência máxima de uma comunicação RFID não pode ultrapassar 36 dBm EIRP na frequência de 915 Mhz, já em Israel, nesta mesma frequência, a potência máxima não pode ser maior que 33 dBm EIRP³ (EPCGLOBAL, 2010).

A camada lógica de um sistema RFID é composta por uma API (*Application Programming Interface*) do equipamento leitor, um sistema de comunicação, um gerenciador de eventos e um subsistema para a antena. A API do leitor RFID permite outras aplicações requisitarem o inventário de etiquetas, monitorar o funcionamento do leitor, gerenciar configurações como níveis de energia e tempo de leitura. Já o sistema de comunicação é responsável por controlar os protocolos de transporte que o leitor deve utilizar para que o leitor se comunique com o *middleware*. Este é o componente que implementa a comunicação por Bluetooth, Ethernet, ou algum protocolo proprietário que irá enviar e receber mensagens da API (BHATT e GLOVER, 2006).

Finkenzeller (2003) também afirma que o gerenciador de eventos determina quais serão os tipos de eventos que irão iniciar uma comunicação entre o leitor e uma etiqueta RFID. Alguns leitores possuem algoritmos de gerenciamento de eventos que reduzem o tráfego de rede. O subsistema da antena consiste de interfaces que habilitam os leitores a interrogar as etiquetas RFID, e controlar fisicamente as antenas.

Em sistemas RFID existem situações onde diversas etiquetas são lidas ao mesmo tempo por um mesmo equipamento leitor, isso pode ocasionar que uma etiqueta acabe interferindo no sinal das demais. A camada lógica é responsável por evitar que esses problemas ocorram, fazendo uso de algoritmos anti-colisão. Alguns algoritmos utilizados para isso são o ALOHA e o de busca binária (PAPAPOSTOULOU e CHAOUCHI, 2011).

2.1.4 EPC (Eletronic Product Code)

O EPC é um número usado para identificar um item. Segundo Prado *et al.* (2006), inicialmente os EPCs eram de 64, 96 e 128 bits. O EPC de 96 bits, por exemplo, contém um cabeçalho e três conjuntos de dados. No cabeçalho, de 8 bits, identifica a versão do EPC. A segunda camada, com 28 bits, é responsável por identificar o administrador do EPC. A terceira parte, com 24 bits contém o tipo do produto ou a sua categoria. E a quarta parte, contendo 36 bits, é um número serial que é o identificador único.

³ EIRP: Potência efetiva irradiada isotropicamente, ou seja, é a potência transmitida pelo leitor menos as perdas dos cabos mais o ganho da antena (RIDA *et al.*, 2010).

O EPC pode ser utilizado em etiquetas com diferentes configurações ou tipos de memória. Prado *et al.* (2006), diz que uma nomenclatura específica ajuda em que tipo de etiqueta o EPC está sendo usado em um sistema RFID. Por exemplo, “EPC Classe 0”, é adotada para o uso do EPC em etiquetas que permitem apenas leitura. “EPC Classe 1” é adotada quando a etiqueta permite uma gravação e várias leituras, utilizado geralmente na cadeia de suprimentos. E o “EPC Classe 2” é usado em etiquetas que permitem leitura e escrita.

2.1.5 Aplicação

O programa de aplicação geralmente controla uma determinada tarefa que é realizada após a leitura das etiquetas, como manter o inventário de um depósito. Por exemplo, quando um produto que contém uma etiqueta RFID entra no estoque de uma empresa que tenha instalado um sistema RFID, o leitor obtém as informações da etiqueta e as passa para a camada de *middleware*, que as repassa para a aplicação, que por sua vez cadastra automaticamente o novo produto em estoque na base de dados da empresa. A camada de *middleware* e a aplicação algumas vezes são descritas como um componente único (JO *et al.* 2009).

2.2 Projetos de ambientes RFID

Jo *et al.* (2009), afirma que, muitas vezes sistemas RFID precisam ser implantados em ambientes, ver Figura 7, onde o custo de instalação pode ser muito alto, e uma simulação de tais ambientes traria muitos benefícios, como economia de tempo e de recursos financeiros. Um dos principais desafios na área de RFID é a simulação de ambientes onde a tecnologia venha a ser utilizada, pois os métodos atuais de verificação de funcionamento do sistema consistem na realização de experimentos de campo baseados na técnica de tentativa e erro, que consomem muito tempo e recursos financeiros. Entende-se por verificação de funcionamento a possibilidade dos componentes de um sistema RFID se comunicarem ou não adequadamente, tendo como principal dificuldade a detecção da etiqueta RFID no ambiente.

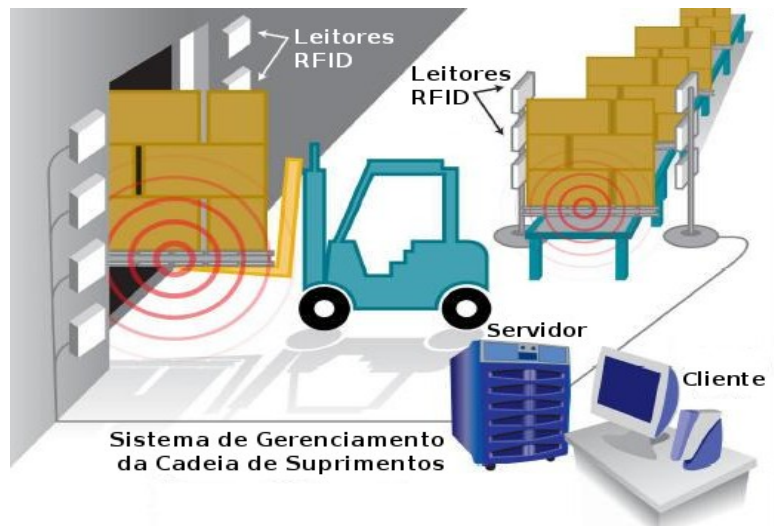


Figura 7: Configuração física de um ambiente RFID
 Fonte: Adaptado de UBBTEC (2010, p. 1)

A dificuldade em conceber um projeto de ambiente RFID se deve a problemas como a distância máxima de leitura das etiquetas, interferência eletromagnética, reflexões e colisões causadas pela leitura de várias etiquetas simultaneamente. A partir disso conclui-se que para uma simulação de sistema RFID ser completa, o simulador deve atender todas as camadas da tecnologia (JO *et al.*, 2009).

2.3 Computação gráfica

Segundo Hill e Kelley (2006), a computação gráfica é uma área da Ciência da Computação responsável pela criação de imagens bidimensionais e tridimensionais usadas para a pesquisa científica, fins artísticos, indústrias, projetos de ambientes, realização de testes de simulação entre outros. A computação gráfica se divide em três grandes sub-áreas, conhecidas como síntese de imagens, processamento de imagens e visão computacional. O produto resultante desta pesquisa e desenvolvimento é um *software* utilizado para realizar síntese de imagens.

As interfaces gráficas de usuário e sistemas multimídia permitem aos usuários de computador selecionar imagens para executar ordens, eliminando a necessidade de memorizar comandos. Uma das formas de representação da computação gráfica é o CAD⁴. As ferramentas CAD são, em sua grande maioria, tridimensionais, e através delas é possível projetar componentes e sistemas mecânicos, elétricos, dispositivos eletrônicos, prédios, casas, aviões, carros, cenários reais, entre outros (WATT, 2000).

4 *Computer-aided design*, ou desenho assistido por computador

2.4 Simulação

Conforme Sakurada *et al.* (2003), simulação é uma ferramenta de apoio para tomadas de decisão que utiliza modelos para reproduzir um sistema em estudo, buscando resolver problemas cuja solução analítica se mostre inviável.

O uso da simulação durante o desenvolvimento seria como uma técnica preditiva e preventiva, onde respostas para questões como “o que aconteceria se...?”, podem auxiliar em tomadas de decisões para evitar futuros problemas. A simulação de cenários RFID pode ajudar na implantação deste sistema, reduzindo custos de implantação e retrabalho, caso algo tivesse que ser alterado após a instalação do sistema (OLIVEIRA, 2007).

Chwif e Medina (2007), afirmam que o termo simulação pode ser classificado em duas grandes categorias: a simulação computacional, e a não-computacional. A simulação computacional é aquela que necessita de um computador para ser realizada, a outra categoria não. A simulação não-computadorizada utiliza, por exemplo, protótipos em escala reduzida. A simulação computadorizada possui três categorias: (i) *software* sem capacidade de animação ou com pós-animador (*software* textual), (ii) simuladores com animação bidimensional (2D), (iii) simuladores com animação tridimensional (3D).

Conforme Lobão *et al.* (1999), o uso de simuladores gráficos permitem que o usuário construa modelos da forma que ele possa visualizar o sistema na vida real, e o emprego de técnicas de realidade virtual permite com que o usuário interaja com o sistema durante a simulação.

2.5 Trabalhos relacionados

Os poucos simuladores existentes que poderiam ser utilizados para resolver os problemas citados acima, são focados em simular a propagação de ondas eletromagnéticas, ou na simulação da leitura dos dados das etiquetas. Além disso, esses aplicativos não permitem que os modelos de simulação destas ferramentas sejam personalizados. O impedimento em personalizar o algoritmo de simulação faz com que projetistas RFID ou até mesmo pesquisadores tenham que criar aplicativos próprios para poderem simular seus modelos, deixando de agregar melhorias a aplicativos que já estão mais maduros e possuem recursos gráficos disponíveis. Ou seja, os pesquisadores são obrigados a criar uma interface visual para apresentar seus resultados (AZAMBUJA, 2011).

Uma das propostas existentes é o RIFIDI, que é uma suíte de ferramentas de código fonte aberto para desenvolvimento integrado de soluções RFID. Algumas ferramentas que compõem o

RIFIDI são o RIFIDI Emulator e o RIFIDI Designer. O RIFIDI Emulator é uma ferramenta que possibilita ao usuário a emulação de leitores baseados em leitores RFID comerciais. Ele possui uma interface gráfica, onde é possível criar e arrastar etiquetas para as antenas dos leitores. As etiquetas serão identificadas como lidas através do raio de leitura do equipamento leitor RFID. Os modelos de simulação do RIFID não levam em consideração fenômenos interferentes da camada física (como interferências eletromagnéticas). O RIFIDI é uma aplicação *desktop*, ou seja, precisa ser instalada na máquina cliente para ser usado. Esta ferramenta, apesar de ter seu código fonte aberto, não permite a personalização em tempo real de seus modelos de predição, ou seja, se algum pesquisador tiver interesse em personalizar a simulação, terá que alterar o código fonte da aplicação (PALAZZI *et al.*, 2009).

Outra proposta é o CST Microwave Studio. Esta ferramenta é um *software* para simulação e análise da propagação de ondas eletromagnéticas através de elementos físicos. O aplicativo CST Studio também é utilizado para projetos de antenas, filtros, linhas de transmissão, e outros. O CST Studio utiliza a tecnologia FDTD (*Finite Difference Time Domain*, ou Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo) para realizar suas simulações. O FDTD é um método numérico para a solução das equações diferenciais parciais de Maxwell⁵. Este método tem sido utilizado para analisar com grande precisão uma infinidade de problemas que envolvam a propagação de ondas eletromagnéticas. O FDTD é utilizado desde aplicações tradicionais para análise e projeto de antenas e outros dispositivos micro-ondas, além de aplicações nas áreas fotônica, dispositivos eletrônicos de alta velocidade e estudo da interação de ondas eletromagnéticas em tecidos biológicos, entre outras (PICANÇO, 2006). O CST Studio é uma ferramenta *desktop*, e apesar de permitir a criação de estruturas tridimensionais (CHEVALIER, 2003), ele não pode ser utilizado em um navegador Web, e não permite que seus modelos de predição possam ser modificados, pois é uma ferramenta proprietária de código fonte fechado.

Já Floerkemeier e Sarma (2009), relatam o desenvolvimento de uma ferramenta, chamada RFIDSim, que simula em uma máquina de eventos discretos o funcionamento dos algoritmos anti-colisão e os aspectos físicos de funcionamento de um sistema RFID. Entretanto, a simulação dos aspectos físicos é realizada de forma unicamente teórica, utilizando um único modelo estatístico e sem testes reais de validação. Diferente da proposta deste trabalho, o RFIDSim possui apenas modelos (protótipos) e não um sistema com interface gráfica, disponível para uso de pesquisadores e projetistas. Caso os modelos do RFIDSim sejam implementados conforme a arquitetura proposta pelo RF3D, poderia existir uma integração entre ambos os sistemas.

5 Maxwell – As Equações de Maxwell são um grupo de quatro equações, assim chamadas em honra de James Clerk Maxwell, que descrevem o comportamento dos campos elétrico e magnético, bem como suas interações com a matéria (WARD e PENDRY, 1996).

Apesar de algumas destas ferramentas de simulação RFID serem visuais e tridimensionais, elas não são Web, o que obriga ao projetista RFID ou o pesquisador sempre levarem consigo algum computador contendo tais ferramentas instaladas e configuradas. O fato de não ser Web também dificulta a colaboração de usuários com novos recursos fornecidos pelo aplicativo, tal como a personalização dos modelos de simulação.

3. Metodologia

A partir da problematização, análise de ferramentas e características do projeto de ambientes RFID, foi desenvolvido um *software* para o apoio ao projeto de ambientes RFID aplicado a modelos de predição. Tal *software* denominou-se RF3D.

Para o desenvolvimento do RF3D foi adotada a metodologia de RAD⁶. Segundo Pressman (2002) este modelo de desenvolvimento de *software* é iterativo e incremental, com ciclos de desenvolvimento curtos, e que se divide em cinco etapas: i) modelagem do negócio; ii) modelagem dos dados relevantes para a aplicação; iii) modelagem do fluxo de processos; iv) desenvolvimento do *software* e v) testes. Tais etapas são descritas nas seções de análise, modelagem do *software*, e desenvolvimento.

Para criar os diagramas de análise do RF3D, foi utilizada uma ferramenta chamada Astah Community (CHANGE VISION, 2011), que possibilita a modelagem UML. Foram criados diagramas de Casos de Uso, *deployment*, classes e componentes.

3.1 Análise

A análise deste *software* se iniciou com a análise de requisitos, que segundo Pressman (2002) é uma etapa importante, que permite obter informações que resultam na especificação das características operacionais da aplicação. A análise de requisitos se iniciou com entrevistas realizadas no Grupo de Sistemas Embarcados (GSE), da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), que realiza estudos relacionados a tecnologia RFID. Essas entrevistas tiveram como objetivo identificar os problemas existentes na implantação de um ambiente RFID, e quais funcionalidades seriam importantes existir em um *software* para resolver tais problemas.

A partir da necessidade de se existir uma aplicação que possibilite a integração entre projeto de ambiente, com um modelo de predição, foi identificado que um pesquisador precisa inicialmente ter a possibilidade de projetar um ambiente. Após o ambiente estiver pronto, as suas configurações,

⁶ *Rapid Application Development*, ou Desenvolvimento Rápido de Aplicação

tais como localização dos componentes, e suas características, devem ser enviadas para que um modelo de predição realize a simulação desejada. A Figura 8 exibe o diagrama de caso de uso, em alto nível, da aplicação. Esta análise serviu como base para se fazer a modelagem do *software*.

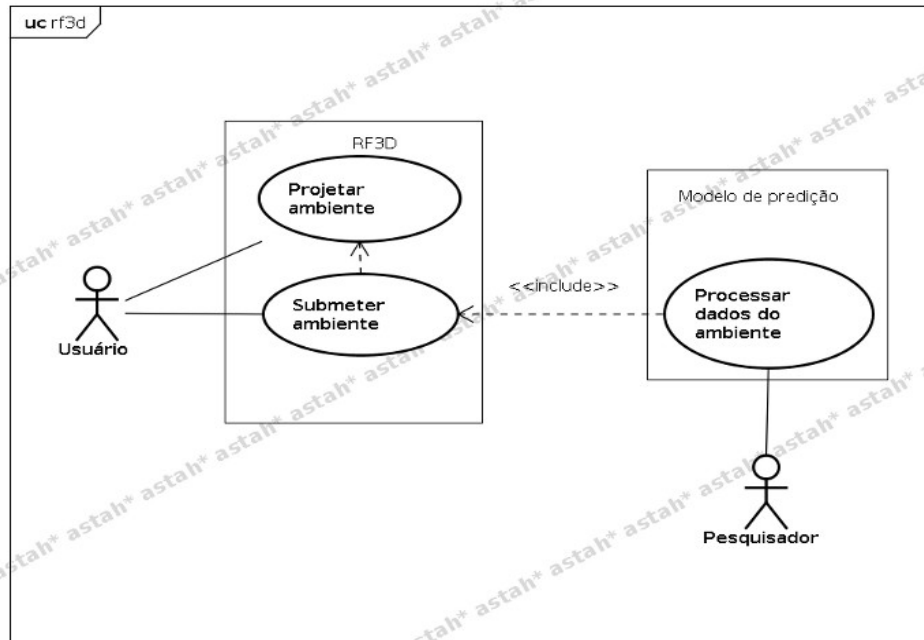


Figura 8: Diagrama de Caso de Uso

O usuário do RF3D poderá projetar um ambiente, em seu navegador WEB, atribuindo antenas e etiquetas, bem como outros objetos. Após o projeto estar concluído, o usuário poderá submeter a configuração do ambiente para ser simulada por um modelo de predição. Após o processo de simulação for concluído, o modelo que realizou esta atividade irá retornar para o RF3D o resultado, para que ele seja visualizado pelo usuário. O usuário não precisa obrigatoriamente criar o seu modelo de predição, visto que ele pode configurar o RF3D para utilizar um existente.

3.2 Modelagem do *software*

A aplicação possui alguns componentes que são necessários para aos requisitos levantados: i) uma interface que será visualizada em um navegador WEB; ii) Um servidor WEB rodando o *software* RF3D. A comunicação entre o navegador WEB e a aplicação é feita através de requisições AJAX⁷. A aplicação possui uma classe cliente SOAP⁸, que tem como objetivo enviar a configuração do ambiente projetado para um modelo de predição externo e, iii) Um servidor rodando um modelo

⁷ AJAX: *Asynchronous JavaScript and XML*

⁸ SOAP: *Simple Object Access Protocol*, ou Protocolo Simples de Acesso a Objetos, é utilizado para troca de mensagens no formato XML.

de predição. O modelo de predição pode ser executado em qualquer linguagem de programação, desde que a mesma possua comunicação via SOAP.

A Figura 9 exibe o diagrama de *deployment* (implantação) do RF3D. Conforme Booch *et al.* (2005), o diagrama de implantação exibe a configuração dos nós de um sistema em tempo de execução.

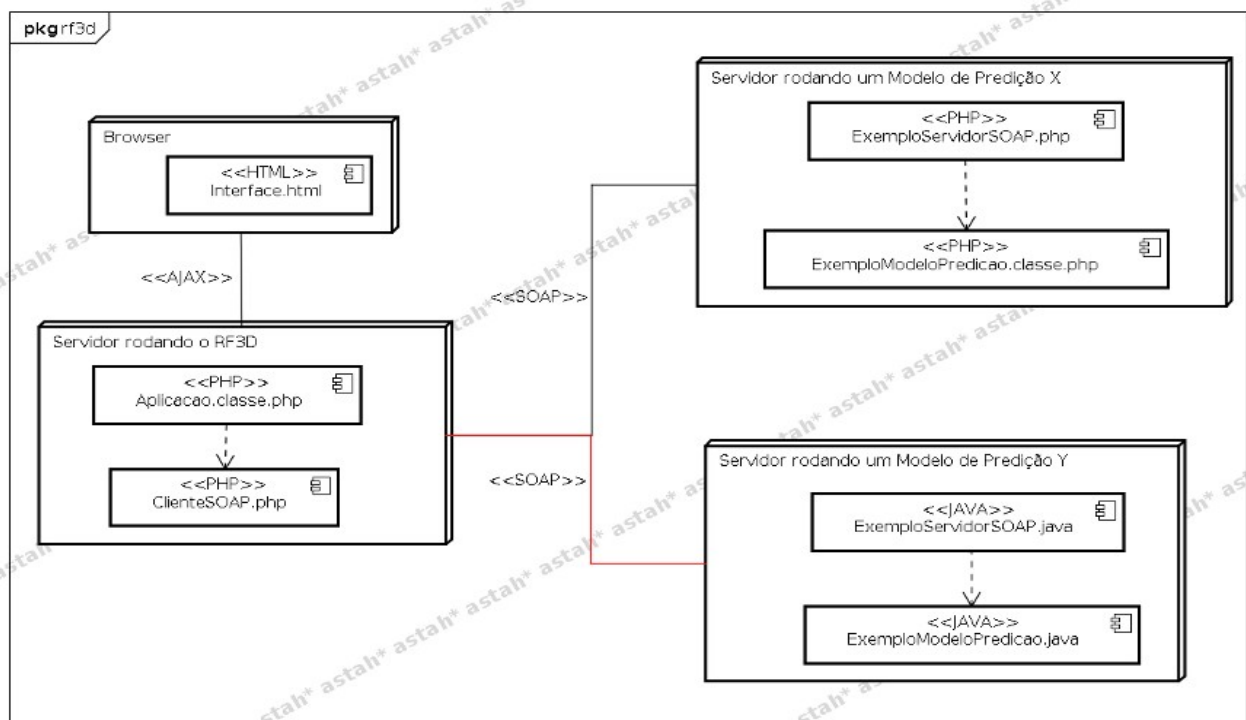


Figura 9: Diagrama de *Deployment*

A partir das informações enviadas pela interface gráfica via AJAX, o RF3D cria uma mensagem no formato XML (W3C, 2011a), e envia essa mensagem para ser processada pelo modelo de predição. Para isso, o RF3D possui um cliente SOAP que tem o objetivo de se comunicar com o um servidor SOAP externo.

3.3 Desenvolvimento

O desenvolvimento deste *software* foi realizado com as tecnologias HTML 5 (W3C, 2011b), Javascript , PHP (ZEND, 2011) e SOAP (W3C, 2011c). Algumas bibliotecas foram utilizadas para facilitar o desenvolvimento da aplicação, com destaque para a Three.js (2011). Esta API possibilita a renderização de objetos tridimensionais utilizando o componente Canvas.

O RF3D roda em um servidor Apache HTTPD (APACHE, 2011a), e por ser Web, este *software* é multiplataforma e, para ser utilizado, o usuário final precisa apenas ter um navegador atualizado, não sendo necessário instalar *plugins*⁹ ou outros aplicativos.

3.3.1 HTML 5

O HTML 5 (*Hypertext Markup Language*) é uma versão mais recente do HTML, que possui novos recursos e funcionalidades. Segundo a W3C (2011), essa linguagem de marcação ainda não está totalmente finalizada, mas já possui suporte para os navegadores atuais, como o Firefox 4 (MOZILLA, 2011), Internet Explorer 9 (MICROSOFT, 2011), Google Chrome 12 (GOOGLE, 2011), e Opera 11 (OPERA, 2011). Apesar de existirem alguns componentes que não possuem suporte para alguns destes navegadores, os testes realizados não mostraram nenhum problema de compatibilidade, ou seja, para o desenvolvimento do RF3D, procurou-se utilizar contextos suportados nesses quatro *browsers*, sem que exista a necessidade de instalação de algum *plugin*.

Dentre as novidades, estão a possibilidade de se criar elementos gráficos através de WEBGL¹⁰, SVG¹¹ e Canvas. Em virtude do contexto Canvas não precisar de um dispositivo de processamento gráfico dedicado, optou-se por se usá-lo para criar a interface de projeto de ambiente do RF3D.

A *tag*¹² canvas possibilita aos desenvolvedores criarem desenhos e gráficos utilizando a linguagem JavaScript. No entanto, todas as funções de desenho são em baixo nível, ou seja, para que um simples desenho seja plotado, é necessário se desenhar ponto a ponto.

Para agilizar o desenvolvimento, e simplificar o código do RF3D, se fez uso de uma API JavaScript chamada Three.js. Essa biblioteca é open source, e permite não apenas a renderização de objetos tridimensionais utilizando Canvas, mas também o uso da tecnologia WEBGL.

3.3.2 Web Service

Chappell e Jewell (2002) descrevem o Web Service como sendo uma parte da lógica de negócios localizada em algum lugar na internet, que poderá ser acessada através de protocolos de internet tais como HTTP ou SMTP. Em Snell *et al.* (2002) a tecnologia WEB Service contém algumas características, tais como: (i) ser baseado em XML, (ii) possuir fraco acoplamento, o que

9 Plugin: módulo de extensão de algum software.

10 WEBGL: *Web-based Graphics Library*, ou biblioteca gráfica baseada na WEB (KHRONOS, 2011).

11 SVG: Scalable Vector Graphics, ou gráficos vetoriais escaláveis (W3C, 2011a)

12 TAG: elemento HTML

permite a troca de mensagens entre sistemas diferentes, (iii) poder ser síncrono ou assíncrono, (iv) suportar chamadas de procedimentos remotos (RPC) e (v) permitir a troca de documentos.

Segundo Monson-Haefel (2004) The eXtensible Markup Language (XML) é uma metalinguagem, ou seja, uma linguagem para definição de outras linguagens, definida por uma especificação. Como uma especificação, o XML define algumas *tags* (marcações) que são usadas para organizar ou descrever um texto. As *tags* geralmente possuem um início e um fim, e o que estiver dentro delas é chamado elemento.

Para padronizar a forma como são trocadas mensagens entre os o cliente e o servidor, foi criado um arquivo WSDL (*Web Services Description Language*). Conforme a W3C (2011), este é um arquivo, escrito usando a linguagem XML, que descreve uma forma padrão de comunicação entre sistemas diferentes. Ele basicamente contém um tipo abstrato de mensagem, as operações que serão realizadas, um protocolo e os serviços utilizados. O pesquisador que desejar integrar seu modelo de predição com o RF3D, deverá fazer uso do arquivo WSDL disponibilizado pelo RF3D.

A mensagem XML enviada pelo RF3D possui alguns atributos básicos que são enviados para o modelo de predição (Tabela 1), além dos atributos específicos de leitores e antenas (Tabela 2) e para etiquetas (Tabela 3).

TABELA 1 – Informações básicas enviadas para cada componente

Tag xml	Descrição
idComponente	Identificação do componente no ambiente gráfico. Esta identificação é gerada em tempo de execução para cada componente atribuído ao projeto.
coordenadaX	Posição do componente na coordenada X.
coordenadaY	Posição do componente na coordenada Y.
coordenadaZ	Posição do componente na coordenada Z.
zenite	Elevação do objeto.
azimute	Sentido de rotação do componente.
tipo	Tipo do componente, ou seja, se ele é uma etiqueta, uma antena, ou outro tipo de material.
escala	Escala da distância entre os componentes.

TABELA 2 – Informações específicas para leitores e antenas

Tag xml	Descrição
potenciaLeitor	Potência do leitor.
frequencia	Frequência utilizada durante a simulação.

TABELA 3 – Informações específicas para etiquetas

Tag xml	Descrição
ganhoEtiqueta	Ganho da etiqueta.
backscatteringLossDbm	Perda de intensidade entre a potência recebida pela etiqueta e a potência refletida.

Através dessas informações, o modelo de predição pode calcular a localização e o sentido (rotação, ângulo) de cada componente. De posse dessas informações, e junto com a escala, ele pode calcular também as distâncias entre os objetos.

Após processar as informações, o modelo de predição cria uma mensagem XML e envia como resposta para o RF3D. A Tabela 4 descreve as informações que são enviadas como resposta pelo modelo de predição.

TABELA 4 – Exemplo de informações retornadas pelo modelo de predição

Tag xml	Descrição	Obrigatório
listaDeEtiquetas	Lista das etiquetas. Esta lista possui a identificação das etiquetas, e a potencia recebida pelo leitor durante a leitura.	Sim
dataHora	Data e hora em que a simulação foi realizada.	Sim
informacoes	Texto descrevendo algumas informações a respeito de quem criou o modelo de predição.	Sim
autor	Autor do modelo de predição	Sim
listaDeMensagens	Lista de mensagens retornadas pelo modelo de predição.	Não
simulacaoRealizada	Informa se a simulação foi realizada com sucesso ou não.	Sim
versao	Versão do modelo de predição.	Sim

Para saber se a mensagem de retorno é compatível com o RF3D, este irá validar a mensagem através de um arquivo XSD. Segundo a W3C (2011), o XSD (*XML Schema Definition*) é uma linguagem de validação, escrita no formato XML, utilizada para a criação de regras de validação para documentos XML. Através do XSD é possível definir que uma mensagem XML deve conter obrigatoriamente determinados elementos e atributos. E que os valores devem ser de determinados tipos.

Como a integração entre o RF3D e os modelos de predição é feita através de mensagens XML, não é necessário que o modelo de predição seja desenvolvido com a mesma linguagem deste *software*, neste caso PHP. Ou seja, o modelo de predição pode ser construído em qualquer linguagem de programação, e também pode ser executado em qualquer arquitetura.

3.3.3 Controle de versão

O desenvolvimento do RF3D foi feito com o auxílio de uma ferramenta para controle de versão (SCM¹³) chamada SubVersion (APACHE, 2011b), mas popularmente conhecida como SVN. O SubVersion permite que uma equipe de desenvolvedores trabalhem num mesmo projeto, modificando os mesmos arquivos. Além disso, ele permite criar versões dos produtos desenvolvidos.

Toda a aplicação está sob controle de versão, não apenas o código fonte, como também os artefatos gerados durante a fase de análise deste projeto.

3.3.4 Estrutura física do RF3D

O diretório raiz do RF3D está dividido em 5 sub-diretórios: i) *analise*: contém os artefatos de análise e o roteiro de atividades que deveriam ser realizadas durante o desenvolvimento; ii) *classes*: possui as classes PHP da aplicação; iii) *comum*: contém os arquivos comuns a toda a aplicação; iv) *config*: contém os arquivos de configuração do RF3D e, v) *web*: contém os arquivos HTML, e seus *templates*, da aplicação, bem como os arquivos que são requisitados pelo Web Service e pelos navegadores Web. O sub-diretório *webservice*, que existe dentro de *web*, possui arquivo de definição de mensagem SOAP, um arquivo XML com um exemplo de mensagem e, um arquivo XSD usado para validar as mensagens trocadas entre o RF3D e o modelo de predição.

Os modelos de predição não precisam possuir obrigatoriamente a mesma estrutura do RF3D. Visto que o importante é que eles processem corretamente as requisições SOAP, e que retornem uma resposta compatível com este *software*.

4. Resultados

A pesquisa e desenvolvimento teve como resultado um *software* WEB, denominado RF3D. A Figura 10 exibe o fluxo de funcionamento da aplicação a nível de usuário, bem como a troca de dados que será realizada entre os componentes do sistema.

13 SCM: *Software Configuration Management*

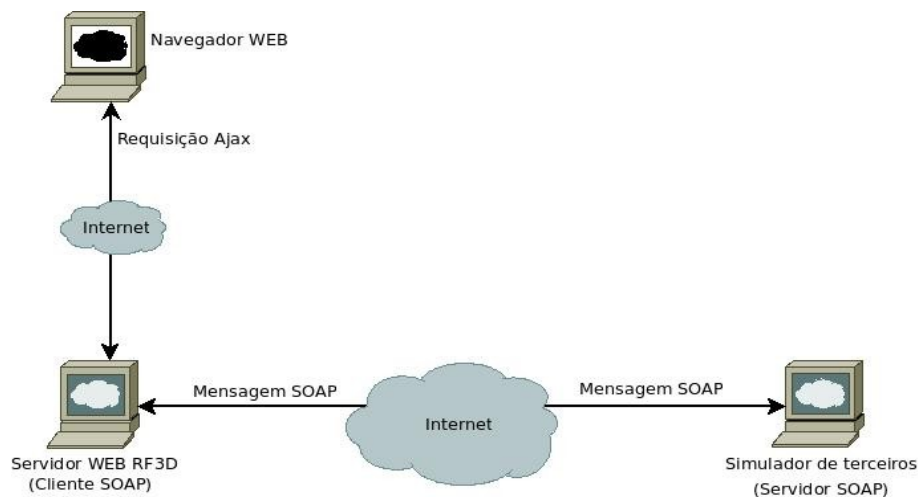


Figura 10: Arquitetura do RF3D na visão do usuário

O funcionamento pode ser descrito da seguinte forma: um pesquisador cria um modelo de simulação, que possibilita identificar se uma etiqueta foi lida ou não, tendo como base algumas informações. Podemos supor que tais informações são a potência da antena do leitor RFID, a frequência utilizada, o ganho da etiqueta e a distância em linha reta, no espaço livre, entre uma etiqueta e uma antena. Nesse exemplo hipotético são desprezados outros fatores, como as direções e a polaridade da antena e da etiqueta e a existência de outros materiais no cenário. O modelo de simulação desenvolvido deve ser codificado e disponibilizado em forma de servidor SOAP (Web Service).

O usuário então desenha no ambiente CAD do RF3D os elementos envolvidos no cenário que se deseja projetar. Feito isto, o usuário informa ao RF3D a localização do servidor SOAP do modelo de simulação, responsável por identificar se os dados existentes na etiqueta serão lidos ou não. O modelo de simulação estará presente somente no Web Service informado, e não no RF3D, dessa forma um mesmo projeto de ambiente pode servir como base para vários modelos. Após submeter essas informações, o RF3D cria uma mensagem XML (padrão SOAP) e a envia para o servidor informado. Este servidor por sua vez processa as informações enviadas e responde ao RF3D, também via XML, a identificação ou não das etiquetas. Tanto o RF3D quanto o Web Service do modelo de simulação verificam se as mensagens trocadas são válidas a partir de um arquivo XSD¹⁴. O RF3D exibe no navegador do usuário o resultado submetido pelo Web Service.

A mensagem XML, enviada para o servidor responsável por efetuar a simulação, contém a descrição de todos os objetos do cenário, incluindo seus atributos informados no ambiente visual. O

¹⁴ XSD: *XML Schema Definition*, ou arquivo de definição de XML.

usuário pode inclusive adicionar novos objetos ou criar novas características para os itens previamente definidos.

O aplicativo apoia o projeto de sistemas RFID através de uma ferramenta para desenho gráfico de ambientes onde tal tecnologia possa vir a ser implantada. O aplicativo também fornece uma camada de integração, possibilitando realizar simulações utilizando modelos de predição aplicados a ambientes RFID.

No *software* RF3D, ver Figura 11, o usuário tem a possibilidade de criar um ambiente que possa representar um cenário físico real, informando antenas e etiquetas RFID e suas características de funcionamento. O RF3D fornece uma ferramenta CAD tridimensional, onde o usuário pode dimensionar, arrastar e visualizar cada objeto do cenário.

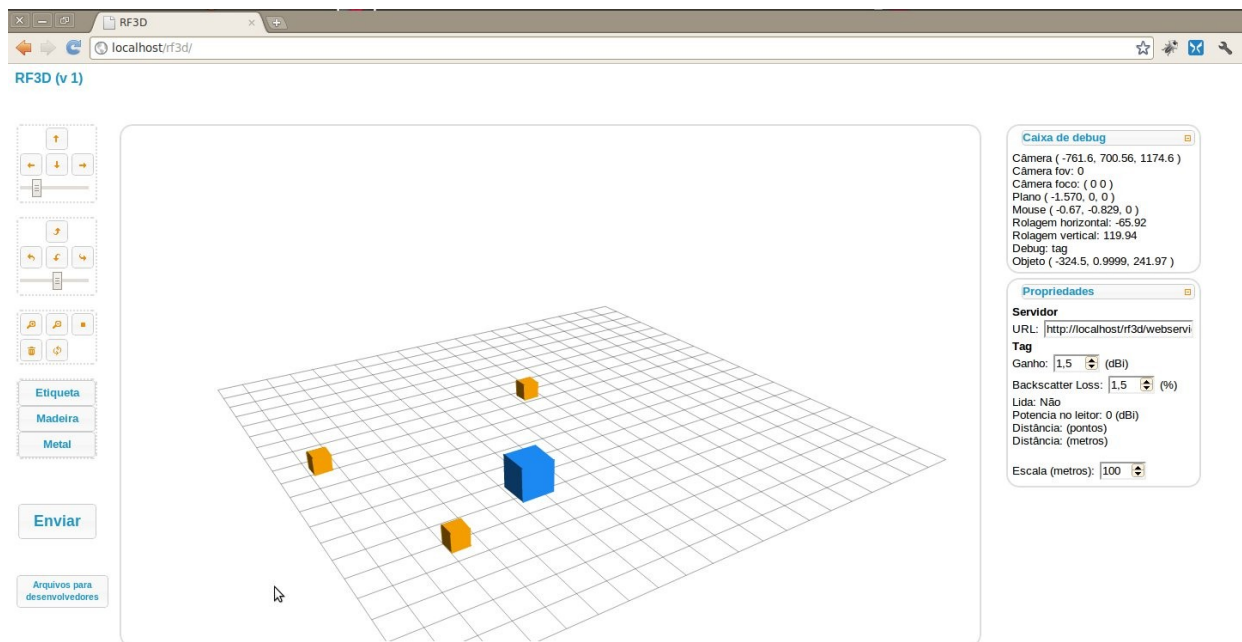


Figura 11: Tela de projeto de ambientes do RF3D

O usuário pode também projetar um ambiente que contenha os mais diversos tipos de objetos, além de configurar seus atributos, tais como: altura, largura, cor, material, densidade, posição, direção e outras características que possam influenciar no resultado da simulação.

Inicialmente, no primeiro protótipo, os componentes existentes no ambiente são os mais importantes de um sistema RFID, ou seja, leitores e etiquetas. Os atributos também são limitados somente aos mais relevantes da tecnologia, e que podem influenciar numa simulação (NIKITIN e RAO, 2008).

Alguns dos atributos que foram considerados durante o desenvolvimento desse projeto para etiquetas foram o ganho, a distância entre elas e a antena, e o posicionamento. Já para leitores RFID, foram considerados potência, ganho e posicionamento da antena. A frequência de operação também foi um importante parâmetro considerado durante o desenvolvimento do RF3D.

Os experimentos realizados até o momento foram feitos utilizando um modelo que realiza uma simulação através de uma equação de espaço livre. A equação de FRIIS é um modelo de propagação, utilizado para estimar a intensidade do sinal recebido, quando o transmissor e o receptor possuem um caminho de linha de visão limpa, sem obstruções entre eles. Em um espaço livre, ou seja, sem que existam obstáculos no ambiente, a potência recebida é obtida através da equação (1) (GAUTHAM, 2008).

$$P_{1r} = P_{1t} (G_1 G_2)^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^4 B_L \quad (1)$$

Onde P_{1r} é a potência recebida pelo equipamento leitor, P_{1t} é a potência transmitida, G_1 e G_2 são os ganhos da antena emissora e da antena da etiqueta, respectivamente. B_L representa o *Backscattering Loss* da etiqueta. Além disso, o lambda (λ) é o comprimento de onda da frequência de transmissão, e r é a distância em metros entre a antena do transmissor e a antena do receptor (Figura 12). Os ganhos das antenas são medidos em relação a antenas isotrópicas (em unidades lineares e não em decibéis), e com o comprimento de onda e a distância tendo as mesmas unidades (GAUTHAM, 2008).

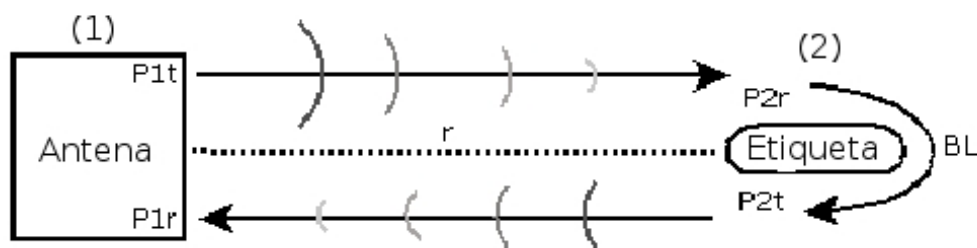


Figura 12: Representação da perda do sinal emitido pelo equipamento leitor
 Fonte: Adaptado de Gautham (2008)

Fazendo uso desta equação, foi desenvolvido um Web Service, que teve como objetivo processar as requisições feitas pelo RF3D. Foi então projetado um cenário contendo uma antena e uma etiqueta, inicialmente a uma determinada distância uma da outra, sem que existissem obstáculos entre esses componentes. A localização do servidor SOAP foi informada ao RF3D, bem como a os outros parâmetros aceitos pela equação de FRIIS que faziam parte do cenário. O servidor SOAP

então processou os parâmetros enviados pelo RF3D, e retornou a potência recebida pela antena receptora.

A resposta do servidor SOAP pode ser exibida na íntegra pelo RF3D, ou seja, o pesquisador pode configurar quais valores deseja exibir. Além disso, o RF3D pode alterar, de forma visual, as características dos componentes projetados no ambiente, com base na resposta do Web Service. Como mostrado na Figura 13, após uma simulação ser realizada, as etiquetas X e Y, distantes 2,29 e 2,45 metros da antena, respectivamente, foram lidas e tiveram sua propriedade de cor alterada para verde. Enquanto que a etiqueta Z, distante 8,54 metros da antena, não foi lida pelo leitor e teve sua cor alterada para vermelho.

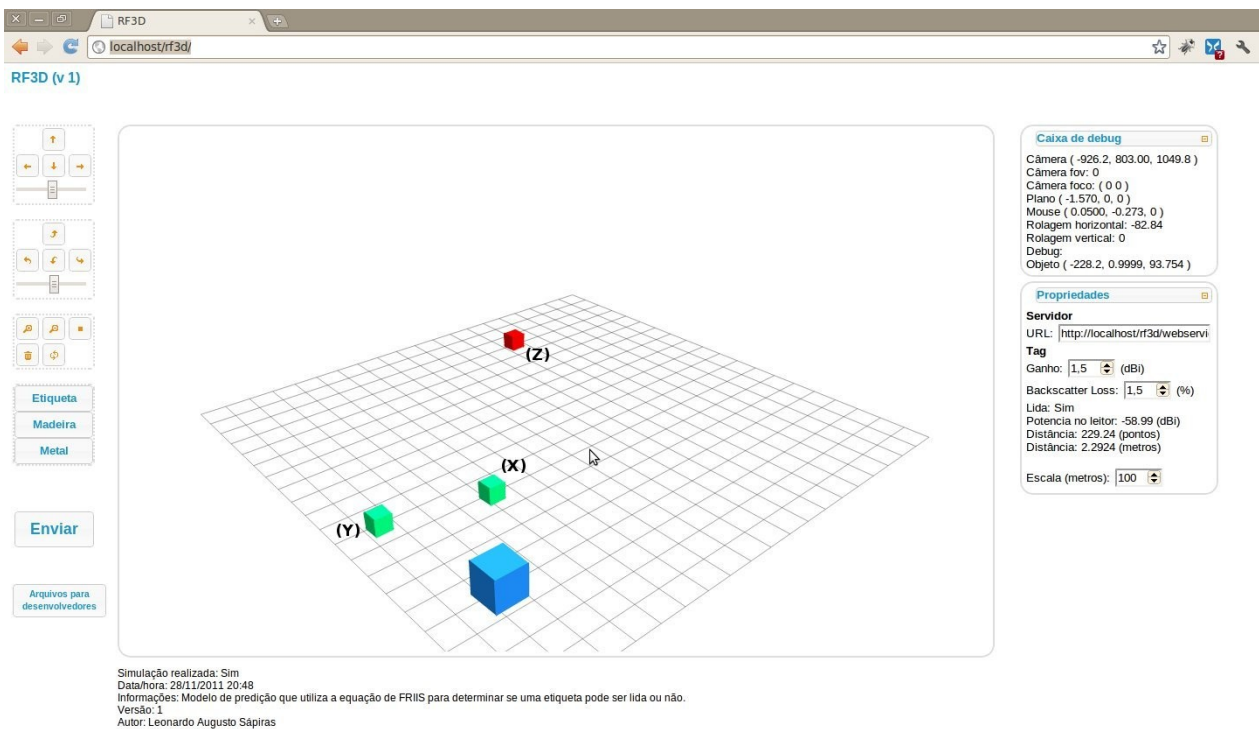


Figura 13: Alteração das características visuais dos componentes a partir da resposta do modelo de simulação

5 Conclusão

O trabalho de pesquisa e desenvolvimento consistiu na criação de um *software* Web para projetar ambientes que utilizem sistemas RFID. Com este aplicativo, será possível dar apoio ao projeto de sistemas RFID, através de uma ferramenta para desenho gráfico de ambientes onde tal tecnologia possa vir a ser implantada. O aplicativo também fornece uma camada de integração, possibilitando realizar simulações utilizando modelos de predição aplicados a ambientes RFID.

O RF3D é um *software* Web, cujo objetivo é resolver os problemas descritos neste artigo. Este *software* possibilita o apoio à criação do projeto de ambientes RFID, podendo ser integrado diretamente a modelos de simulação. No *software* RF3D o usuário tem a possibilidade de criar um ambiente que possa representar um cenário físico real, informando antenas e etiquetas RFID e suas características de funcionamento. O RF3D fornece uma ferramenta CAD tridimensional, onde o usuário pode dimensionar, arrastar e visualizar cada objeto do cenário. O usuário pode também projetar um ambiente que contenha os mais diversos tipos de objetos, além de configurar seus atributos, tais como: altura, largura, cor, material, densidade, posição, direção e outras características que possam influenciar no resultado da simulação.

A aplicação pode funcionar em qualquer navegador WEB atual, que tenha suporte a tecnologia HTML 5, que apesar de não estar homologada pela W3C, se mostrou eficiente para a criação de objetos tridimensionais. Foram encontradas algumas dificuldades ao longo do desenvolvimento do projeto, como por exemplo a escolha de uma API JavaScript para facilitar o trabalho de codificação. A API escolhida, Three.js, ainda está em fase de amadurecimento, mas a documentação e os exemplos encontrados foram de grande utilidade para o desenvolvimento desta aplicação.

Esta aplicação não está totalmente concluída, ainda é necessário a implementação de outros recursos que possibilitem ao *software* a criação de cenários completos e a configuração de todos os objetos presentes no ambiente. Pretende-se como trabalhos futuros, aumentar a personalização de projeto do ambiente e de tratamento das respostas vindas dos modelos de simulação. Também pretende-se inserir no ambiente outros componentes, tais como os materiais onde as etiquetas estão fixadas, paredes, obstáculos, bem como as características destes componentes, como a polarização das antenas, por exemplo. No entanto, utilizando apenas um modelo de simulação básico, ficou visível que o RFID poderá facilitar o trabalho de pesquisadores, que trabalham desenvolvendo modelos de simulação e meios de identificar e prever o comportamento e as mudanças em um ambiente RFID, sem que os mesmos sejam obrigados a implementar uma interface visual para a apresentação de seus resultados. O sistema desenvolvido também poderá vir a ser aplicado de forma didática, demonstrando modelos de propagação e suas variáveis de forma visual, no ambiente gráfico do RF3D.

Referências

- ALIBABA GLOBAL TRADE. 2011. Disponível em: <<http://www.alibaba.com/>>. Acesso em: 20 nov. 2011.
- APACHE SOFTWARE FOUNDATION. **Apache HTTPD Server Project**. 2011a. Disponível em: <<http://httpd.apache.org/>>. Acesso em: 01 mar. 2011.

- APACHE SOFTWARE FOUNDATION. **SubVersion**. 2011b. Disponível em: <<http://subversion.apache.org/>>. Acesso em: 02 mar. 2011.
- AZAMBUJA, Marcelo Cunha de. **Modelos e Técnicas para Simulação de Sistemas UHF de Identificação por Rádio Frequência (RFID)**, 2011. Tese (Doutorado em Ciências da Computação) – Faculdade de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BHATT, H.; GLOVER, Bill. **RFID Essentials**. Sebastopol: O’Reilly, 2006.
- BOOCH, G. RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML Guia do Usuário**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- CHANGE VISION. **Astah Community**. 2011. Disponível em: <<http://astah.net>>. Acesso em: 10 fev. 2011.
- CHAPPELL, D. A.; JEWELL, T. **Java Web Services**. Sebastopol: O’Reilly & Associates, 2002.
- CHEVALIER, C. T. ET AL. **Three-Dimensional Simulation of Traveling-Wave Tube Cold-Test Characteristics Using CST MICROWAVE STUDIO**. 2003. Disponível em <<http://gltrs.grc.nasa.gov>>. Acesso em: 10 abr. 2011.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos**. 2. ed. São Paulo, 2007.
- EPCGLOBAL. **Regulatory status for using RFID in the UHF spectrum**. 2010. Disponível em: <http://www.epcglobalinc.org/tech/freq_reg/RFID_at_UHF_Regulations_20100824.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2010.
- FINKENZELLER, K. **RFID Handbook**. 2. ed. West Sussex: Sons, John Wiley &, 2003.
- FLOERKEMEIER, C.; SARMA, S. **RFIDSim - A Physical and Logical Layer Simulation Engine for Passive RFID**. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 6, n. 1, p. 33-43, 2009.
- GAUTHAM A. “**Practical Evaluation and Analysis of Passive UHF RFID Tags**”, Master Thesis of Science in Electrical Engineering, University of Texas at Arlington 2008.
- GOOGLE CORPORATION. **Google Chrome**. 2011. Disponível em: <<http://www.google.com/chrome?hl=pt-BR>>. Acesso em: 18 mai. 2011.
- HILL Jr, F. S, KELLEY S. M. **Computer Graphics using OpenGL**. 3. ed. Prentice Hall, 2006.
- ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **ISO/IEC 18000-6: Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz**. 2006.
- JO, M. YOUN, H. Y. CHA, S.-H.; CHOO, H. **Mobile RFID Tag Detection Influence Factors and Prediction of Tag Detectability**. **IEEE Sensors Journal**, v. 9, n. 2, p. 112-119, 2009.
- KHRONOS GROUP INC. **WEBGL**. 2011. Disponível em: <<http://www.khronos.org/>>. Acesso em: 14 jan. 2011.
- LOBÃO, E. DE C.; PORTO, A. J. V. **Evolução das técnicas de simulação**. , v. 9, n. 1, p. 13-21, 1999.
- MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Internet Explorer**. Disponível em: <<http://windows.microsoft.com/pt-BR/internet-explorer/products/ie/home>>. Acesso em: 18 mai. 2011.
- MICROSOFT CORPORATION. **O valor de negócio da tecnologia RFID (Radio Frequency Identification, ou Identificação por Rádio Frequência)**. 2006.
- MONSON-HAEFEL, R. **J2EE Web Services**. Boston: Addison-Wesley, 2004.
- MOZILLA FOUNDATION. **Mozilla Firefox**. Disponível em: <<http://br.mozdev.org/>>. Acesso em: 18 mai. 2011.
- NIKITIN, P. V.; RAO, K. V. S. **Antennas and Propagation in UHF RFID Systems**. **2008 IEEE International Conference on RFID**, p. 277-288, 2008.
- OLIVEIRA, J. B. DE. **Simulação Computacional: Análise de um Sistema de Manufatura em Fase de Desenvolvimento**, 2007. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- OPERA SOFTWARE ASA. **Opera**. 2011. Disponível em: <<http://www.opera.com/>>. Acesso em: 18 mai. 2011.
- PALAZZI, C. E. CERIALI, A.; MONTE, M. D. **RFID Emulation in Rifidi Environment**. **International Symposium on Obiquitous Computing**, Beijing, 2009.
- PAPAPOSTOULOU, A.; CHAOUCHI, H. **RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance**. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 34, n. 3, p. 902-913, 2011. Elsevier.
- PEDROSO, M. C.; ZWICKER, R.; SOUZA, C. A. **Adoção de RFID no Brasil: Um estudo exploratório**. *Revista de Administração Mackenzie*, V. 10, N. 1. 2009.

- PICANÇO, R. P. **Desenvolvimento de uma Interface Integrada para o Projeto e Análise de Antenas Utilizando o Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD)**. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica), 2006. Universidade de Brasília.
- POLO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DO VALE DO PARANHANA E ENCOSTA DA SERRA. **Polo de Inovação Tecnológica do Vale do Paranhana e Encosta da Serra**. Disponível em: <<http://polovp.faccat.br>>. Acesso em: 10 out. 2011.
- PRADO, N. R. DA S. A. PEREIRA, N. A.; POLITANO, P. R. **Dificuldades para a adoção de RFID nas operações de uma cadeia de suprimentos**. XXVI ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. *Anais*. p.1-8, 2006. Fortaleza, Brasil.
- PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**. 5. ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2002.
- RAPPAPORT, T. S. **Wireless Communications: Principles and Practice**. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
- RIDA, A. YANG, L.; TENTZERIS, M. **RFID-Enabled Sensor Design and Applications**. Boston: Artech House, 2010.
- SAKURADA, N. M. D. I. **Estudo comparativo de softwares de simulação de eventos discretos aplicados na modelagem de um exemplo de Loja de Serviços**. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção. *Anais*. p.1-8, 2003. Ouro Preto.
- SNELL, J. TIDWELL, D.; KULCHENKO, P. **Programming Web Services with SOAP**. Sebastopol: O'Reilly & Associates, 2002.
- Three.js**. 2011. Disponível em: <<https://github.com/mrdoob/three.js>>. Acesso em: 20 mai. 2011.
- UBBTEC TECHNOLOGY INC. **UBBTEC**. Disponível em: <<http://www.ubbtec.com>>. Acesso em: 01 dez. 2010.
- VDC RESEARCH GROUP INC. **The Global Market for EPC RFID Hardware**. 2011. Acesso em 21 nov. 2011. Disponível em <<http://www.vdcresearch.com/>>
- W3C WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **SVG**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/SVG/>>. Acesso em: 10 mar. 2011a.
- W3C WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **XML**. Disponível em: <<http://www.w3.org/XML/>>. Acesso em: 10 mar. 2011b.
- W3C WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **HTML 5**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/html5/>>. Acesso em: 17 abr. 2011c.
- W3C WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **SOAP**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/soap/>>. Acesso em: 10 mai. 2011d.
- W3C WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **WSDL**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/wsdl>>. Acesso em: 15 mai. 2011e.
- W3C WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **XSD**. Disponível em: <<http://www.w3.org/XML/Schema>>. Acesso em: 01 jun. 2011f.
- WARD, A. J.; PENDRY, B. J. Refraction and geometry in Maxwell's equation. **Journal of Modern Optics**, v. 43, n. 4, p. 773-793, 1996.
- WATT, A. **3D Computer Graphics**. 3. ed. Addison-Wesley, 2000
- WEIS, S. A. **Security and Privacy in Radio-Frequency Identification Devices** Security, 2003. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY.
- ZEND. **PHP Hipertext Preprocessor**. 2011 Disponível em: <<http://www.php.net>>. Acesso em: 10 out. 2010.