

Simulação Virtual de Agentes Autônomos para a Identificação e Controle de Incêndios em Reservas Naturais

Gustavo Pessin
Fernando Osório
Unisinos – PIPCA
PPG em Computação Aplicada
Av. Unisinos, 950
São Leopoldo, RS - Brasil
pessin@gmail.com,
fosorio@unisinos.br

Soraia Musse
PUC-RS – FACIN
Faculdade de Informática
Av. Ipiranga, 6681
Porto Alegre, RS - Brasil
soraia.musse@pucls.br

Vinícius Nonnemmacher
Sandro Souza Ferreira
Unisinos – PIPCA – GT JEDi
Av. Unisinos, 950
São Leopoldo, RS - Brasil
{vnonnemmacher,
sandro.s.ferreira}@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this work is to detail project and development of a virtual environment for realistic simulation using autonomous and communicative robotic agents. The system goal is its application in the automatization process of identification and fire combat in forest reserves, using autonomous agents. Moreover, the simulation also can be used for training and accompaniment of fire team combat. The agents set plans its action based on data sensors, as GPS, odometer, thermometer, etc. The operations are carried through on a terrain that simulates diverse natural aspects, like types of vegetation, topography, and respect questions like fire propagation tax based on intensity and wind orientation, vegetation and topography. With the developed prototype we can also track the simulation and the displacement of the “robot-firefighter”, the system runs in a visualization room, thus allow better immersion in the virtual environment and simulation. The first results demonstrated that Virtual Reality solutions have a very important paper on planning and execution of fire combat operations in natural reserves.

Keywords

Virtual Simulation, Autonomous Agents, Environment of Virtual Reality, Fire Combat.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é detalhar o projeto e desenvolvimento de um ambiente virtual de simulação realística utilizando agentes robóticos autônomos e comunicativos. Este sistema tem por meta ser aplicado no processo de automatização da identificação e combate de incêndios em reservas florestais, usando agentes autônomos. Além disto, a simulação pode ser também utilizada no treinamento e no acompanhamento de equipes de combate a incêndios. O conjunto de agentes planeja suas ações baseadas em dados de sensores, como GPS, odômetro, sensor de temperatura, entre outros. As operações são realizadas em um terreno que simula diversos aspectos naturais, como tipos de vegetação, topografia, e respeita questões como taxa de propagação do fogo baseado na intensidade e orientação do vento, vegetação e topografia. Como resultado deste projeto temos um protótipo do sistema que permite acompanhar a simulação e o deslocamento dos “robôs-bombeiros”, estando implementado junto a uma sala de visualização com tela de projeção e monitor adaptados ao uso de óculos estereoscópicos (ativo e passivo), permitindo assim uma melhor imersão junto ao ambiente virtual e junto a simulação. Os primeiros resultados demonstraram que soluções de Realidade

Virtual podem vir a ter um papel muito importante no planejamento e execução de operações de combate a incêndios em reservas naturais.

Palavras-chave

Simulação Virtual, Agentes Autônomos, Combate de Incêndios, Ambiente de Realidade Virtual.

1. INTRODUÇÃO

Anualmente, registram-se cerca de 45.000 incêndios nas florestas da Europa. Entre 1989 e 1993, só na zona mediterrânica 2,6 milhões de hectares florestais foram destruídos pelo fogo, o equivalente ao desaparecimento do mapa de um território com a dimensão da Bélgica a cada cinco anos. [16]

A extensão territorial do Brasil e a diversidade de sua cobertura vegetal, bem como o número expressivo de ocorrências de incêndios florestais verificados no país, são fatores que enfatizam a necessidade de um sistema cada vez mais aprimorado e consistente de detecção de incêndios florestais [11]. Diversas iniciativas a fim de incrementar a capacidade de reação dos órgãos públicos e civis no sentido de evitar desastres tem sido uma das preocupações junto a órgãos como a Secretaria Nacional de Defesa Civil, levando a criação de novos CEPEDs (Centro de Estudos para a Prevenção de Emergências e Desastres). Importantes iniciativas, como a RBV – *Rede Brasileira de Visualização*, financiada pela FINEP, também tem sido incentivadas, onde a competência de Segurança e Defesa (Civil e Militar) da Rede vem sendo foco de desenvolvimentos junto a nossa Universidade e na qual este projeto se integra.

Os incêndios florestais causam diversos tipos de danos humanos, materiais e ambientais. Danos ambientais na fauna e flora afetam desde o solo até o aspecto de sobrevivência de áreas não incendiadas, prejudicando os ambientes naturais e o planejamento florestal. As perdas humanas são mais dramáticas, onde este custo dificilmente pode ser quantificado. Quanto a prejuízos humanos, por exemplo, na Austrália, em 1932 um incêndio florestal matou 71 pessoas. No Canadá, entre 1969 e 1978 os incêndios florestais mataram 13 pessoas. No Brasil, um incêndio no Paraná, em 1963, provocou 110 mortes[17].

Conforme foi indicado acima, os prejuízos causados pelos incêndios podem alcançar grandes proporções, com danos humanos, materiais e ambientais. Portanto, quanto mais rápida for a detecção e o combate ao incêndio, menores serão os danos

causados. Em consequência disto, devem ser feitos investimentos que visem melhoria das condições de monitoramento e de combate a incêndios. Nossa proposta visa desenvolver um ambiente virtual para simulação do combate e controle de incêndios, também é proposto o uso de robôs (veículos) móveis autônomos, formando uma brigada de combate a incêndios.

Nossas principais metas neste projeto são: (i) Recolher informações sobre dados florestais, tipos de vegetação, topografia, e comportamento de incêndios para criar o ambiente virtual mais realista possível; (ii) Simular incêndios em florestas, reproduzindo de forma bastante realista o ambiente e a propagação dos focos de incêndio; (iii) Pesquisar ferramentas e técnicas de combate à incêndio florestais utilizadas por bombeiros; (iv) Implementar a simulação de agentes móveis autônomos capazes de formar uma brigada de combate a incêndios; (v) Simular a operação de identificação, comunicação, planejamento, deslocamento e combate ao incêndio pelos agentes, sendo todas estas operações realizadas de forma autônoma.

O ambiente desenvolvido neste trabalho visa permitir que sejam visualizadas situações bastante realísticas de combate a incêndios em florestas, através da imersão em um ambiente de Realidade Virtual. Para estas situações é possível realizar uma simulação de modo totalmente automatizado, observando os resultados e buscando melhorar/otimizar técnicas de combate a incêndios. O sistema propõe a criação de uma brigada autônoma de combate a incêndios, mas pode também servir como uma ferramenta de visualização, apoio à decisão e de treinamento para brigadas de bombeiros que estejam atuando sobre incêndios reais (apoio) ou virtuais (treinamento). Com isso visamos ter uma ferramenta que reduza os riscos a vida humana em situações críticas.

Este trabalho também tem como objetivo estudar, testar e ajudar a projetar melhores agentes autônomos de combate a incêndios. Através das simulações, podemos configurar o conjunto adequado de sensores em cada agente, que lhes permita realizar suas operações de forma autônoma, porém coordenada através de comunicação.

Neste artigo apresentamos na Seção 2 uma pequena conceituação teórica de agentes, características e propriedades. Na Seção 3 detalhamos dados ambientais e tipos de combustíveis, informações estas importantes para que seja feita uma adequada simulação do ambiente e dos incêndios em florestas. Na seção 4 detalhamos as técnicas e ferramentas reais de combate a incêndios florestais, visando a criação de nossa brigada virtual autônoma de combate a incêndios. Na Seção 5 detalhamos o desenvolvimento de nosso ambiente, ferramentas de software que foram utilizadas (e.g. SDL, OSG), recursos de hardware (sala de visualização), e finalizamos apresentando possíveis trabalhos futuros e conclusões sobre os trabalhos realizados.

2. SISTEMAS MULTI-AGENTES

Embora não exista uma definição consensual do conceito de agente, existe a noção de que a autonomia é essencial num agente [3]. Um agente é um sistema computacional que se encontra situado em um dado ambiente. Este ambiente pode ser situado no mundo real, um ambiente simulado ou um computador. Os agentes mais comuns são os agentes de software, e no caso do sistema proposto, teremos um agente virtual (simulado) inserido em um ambiente virtual.

Agentes podem ter uma existência física, possuindo um corpo, designando-se nesse caso por agentes robóticos. Independentemente do tipo de agente e de ambiente é essencial a capacidade do mesmo perceber o ambiente no qual está inserido e agir nele de maneira autônoma. Desta forma, o agente deve possuir sensores e atuadores apropriados ao seu ambiente e à execução das tarefas para as quais foi projetado [2].

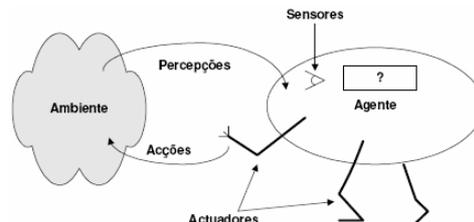


Figura 1. Exemplo de interação de agente com ambiente [3].

O ambiente é onde um agente ou um conjunto de agentes estão inseridos. Pode ser físico, como ambientes onde estão inseridos robôs, ambientes de software ou ambientes de realidade virtual, onde se faz a simulação do agente inserido em um ambiente físico simulado de maneira realística [1][21]. A Figura 1 apresenta um esquema típico de percepção-ação de um agente e a representação do ambiente. No caso do sistema proposto, o agente tem a capacidade de perceber informações sobre o ambiente em que está inserido, mas também possui a capacidade de agir sobre este ambiente, podendo locomover-se.

Quanto às propriedades dos agentes, alguns ingredientes fundamentais que efetivam sua caracterização são [4]:

Autonomia: Os agentes operam sem a intervenção direta de humanos ou outros agentes e possuem algum tipo de controle sobre as suas ações e estado interno;

Reatividade: Os agentes têm a percepção do seu ambiente e respondem rapidamente às alterações que nele ocorrem;

Pró-Atividade: Os agentes não se limitam a agir em resposta ao seu ambiente. Eles são capazes de tomar a iniciativa e exibir comportamento direcionado por objetivos;

Habilidade Social: Os agentes são capazes de interagir com outros agentes (e possivelmente com humanos) através de uma dada linguagem de comunicação.

Os Sistemas Multi-Agentes (SMAs) são sistemas constituídos de múltiplos agentes que interagem ou trabalham em conjunto de forma a realizar um determinado conjunto de tarefas ou objetivos. Esses objetivos podem ser comuns a todos os agentes ou não. No sistema proposto, foi implementada uma brigada de agentes (SMA), onde estes agentes possuem a capacidade de interagir e de se comunicar entre si de modo a cooperar na execução de seu objetivo comum: combater os focos de incêndio.

A comunicação permite que os agentes em um ambiente multi-agente troquem informações que servirão de base para coordenar suas ações e realizar cooperação. A comunicação entre agentes é a troca intencional de informações causada pela produção e percepção de sinais por parte dos agentes [5]. Para que haja alguma forma de interação entre sistemas baseados em agentes é preciso que haja um consenso, pelo menos em relação as interfaces, sobre os seguintes níveis de interação [6]: (i)

Transporte: como os agentes enviam e recebem mensagens; (ii) *Linguagem*: qual o significado de mensagens individuais; (iii) *Política*: como os agentes estruturam conversações; (iv) *Arquitetura*: como conectar sistemas em concordância com protocolos existentes.

Depois de projetados os agentes com capacidade de comunicação precisamos escolher qual a arquitetura mais adequada para promover a sua colaboração, que podem ser [1][2][8]:

Sistemas Horizontais: Neste tipo de sistema, todos os agentes possuem competências idênticas. A inexistência de quaisquer agentes especiais que possam influenciar ou limitar as interações entre os demais agentes permite que nesta arquitetura a comunicação entre os agentes possa ter lugar sem qualquer perturbação ou controle especializado.

Sistemas Quadro-Negro: O princípio básico dos sistemas de quadro negro é a criação de uma estrutura de dados comum através da qual os diversos agentes se comunicam, como mostra a Figura 2. Através de escrita e leitura nesta estrutura comum a todos os agentes é possível um agente se comunicar com os restantes. Em sistemas baseados em quadro negro não se verifica qualquer tipo de comunicação diretamente entre agentes, sendo esta efetuada sempre através da estrutura de dados comum.

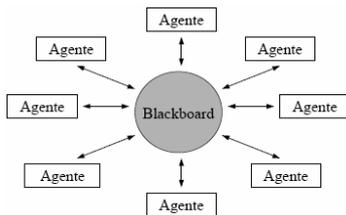


Figura 2. Arquitetura de Quadro-Negro (Blackboard)[2].

Sistemas Federados: Nos sistemas federados são introduzidos agentes facilitadores [8], estes agentes coordenam a troca de mensagens entre os agentes do sistema como mostra a Figura 3, retirada de [7]. Estes agentes usualmente fornecem um serviço que é também chamado de páginas amarelas.

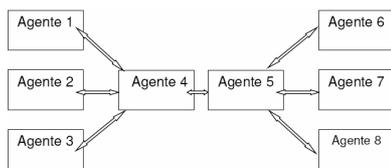


Figura 3. Arquitetura de sistema federado [7].

No sistema desenvolvido foi implementada uma troca de mensagens por Quadro-Negro (*blackboard*), conforme será descrito posteriormente na seção 5.3, devido a sua flexibilidade e confiabilidade.

3. FOGO EM AMBIENTES NATURAIS

Fogo, de um modo geral, é o termo aplicado ao fenômeno físico resultante da rápida combinação entre o oxigênio e uma substância combustível com produção de calor, luz e chamas. A reação da combustão completa da madeira, que poderia ser generalizada para todo o material combustível da floresta, envolve três elementos básicos: combustível, oxigênio e calor. Em qualquer incêndio florestal é necessário haver combustível para

queimar, oxigênio para manter as chamas e calor para iniciar e continuar o processo de queima. Essa inter-relação entre os três elementos básicos da combustão é conhecida como “triângulo do fogo”. A ausência, ou redução abaixo de certos níveis, de qualquer um dos componentes do triângulo do fogo inviabiliza o processo da combustão [17].

Existem modelos matemáticos, bastante complexos, para se estimar a velocidade de propagação de um incêndio [17]. No nosso modelo obtivemos de [13] medições reais de velocidade de propagação e velocidade de vento em parques nacionais. Por exemplo, velocidade do fogo de 20km/h com velocidade de propagação de 0,09m/s em vegetação arbustiva e velocidade do fogo de 60km/h com velocidade de propagação de 1,94m/s em vegetação rasteira.

3.1 Combustíveis Florestais

Quanto aos tipos de combustíveis florestais, sugere-se os seguintes modelos[14]:

Modelo 1, herbáceo: Pasto fino, seco e baixo, com altura abaixo do joelho, que cobre completamente o solo. Os matos ou as árvores cobrem menos de 1/3 da superfície. Os incêndios propagam-se com grande velocidade pelo pasto fino.

Modelo 2, herbáceo: Pasto contínuo, fino, seco e baixo, com presença de matos ou árvores que cobrem entre 1/3 e 2/3 da superfície. Os combustíveis são formados pelo pasto seco, folhada e ramos caídos da vegetação lenhosa. Os incêndios propagam-se rapidamente pelo pasto fino.

Modelo 3, herbáceo: Pasto contínuo, espesso, com mais de 1m sendo que 1/3 ou mais do pasto deverá seco. Os incêndios são mais rápidos e de maior intensidade.

Modelo 4, arbustivo: Matos ou árvores jovens muito densos, com cerca de 2 metros de altura. Continuidade horizontal e vertical do combustível. Abundância de combustível lenhoso morto (ramos) sobre as plantas vivas. O fogo propaga-se rapidamente sobre as copas dos matos com grande intensidade e com chamas grandes.

Modelo 5, arbustivo: Mato denso baixo, com uma altura inferior a 0,6m. Apresenta cargas ligeiras de folhada do mesmo mato, que contribui para a propagação do fogo em situação de ventos fracos. Fogos de intensidade moderada.

Modelo 6, arbustivo: Mato mais velho do que no modelo 5, com alturas compreendidas entre os 0,6 e os 2 metros de altura. Os combustíveis vivos são mais escassos e dispersos. No conjunto é mais inflamável do que o modelo 5. O fogo propaga-se através do mato com ventos moderados a fortes.

Modelo 7, arbustivo: Mato de espécies muito inflamáveis, de 0,6 a 2 metros de altura, que propaga o fogo debaixo das árvores. O incêndio desenvolve-se com teores mais altos de umidade do combustível morto do que no outros modelos, devido à natureza mais inflamável dos outros combustíveis vivos.

Modelo 8, manta morta: Folhada em bosque denso. A folhada forma uma capa compacta ao estar formada de agulhas pequenas (5 cm ou menos) ou por folhas planas não muito grandes. Os fogos são de fraca intensidade, com chamas curtas e que avançam lentamente.

Modelo 9, manta morta: Folhada em bosque denso que se diferencia do modelo 8 por formar uma camada pouco compacta e arejada. Fogo mais rápido e com chamas mais compridas do que as do modelo 8.

Modelo 10, manta morta: Restos lenhosos originados naturalmente, incluindo lenha grossa caída como consequência de vendavais, pragas intensas ou excessiva maturação da massa, com presença de vegetação herbácea que cresce entre os restos lenhosos.

Modelo 11, resíduos lenhosos: Resíduos ligeiros com diâmetro menor que 7,5cm, recentes, de tratamentos silvícolas ou de aproveitamentos, formando uma capa pouco compacta de altura por volta de 30 cm. Incêndios com intensidades elevadas.

Modelo 12, resíduos lenhosos: Resíduos de exploração mais pesados do que no modelo 11, formando uma capa contínua de altura até 60 cm. Incêndios com intensidades elevadas.

Modelo 13, resíduos lenhosos: Grandes acumulações de resíduos de exploração grossos com diâmetro maior que 7,5 cm e pesados, cobrindo todo o solo.

Estudos dos modelos de florestas e resíduos florestais são de grande importância para o aprimoramento dos modelos de simulação a serem implementados em ambientes virtuais.

Além destes modelos, também é importante que seja feito um mapeamento do terreno e do tipo de vegetação da cobertura deste terreno, caso se deseje realizar uma reprodução mais fiel de um determinado ambiente. A reprodução fiel de ambientes de florestas pode ser de grande importância no caso do uso do sistema de Realidade Virtual em tarefas de visualização e acompanhamento de incêndios reais, servindo como uma ferramenta estratégica de apoio à tomada de decisões.

No caso do sistema em desenvolvimento junto a este projeto, em uma primeira etapa estamos focando nossos esforços em criar um modelo de simulação da propagação de incêndios mais realista, considerando parâmetros como tipo do terreno e da cobertura de vegetação. Sendo assim, o mapeamento de características específicas de um determinado terreno real e de sua cobertura poderá ser facilmente adaptado e inserido futuramente junto ao sistema de simulação.

4. TÉCNICAS REAIS DE OPERAÇÃO

A fim de melhor entender como proceder para combater incêndios, e desta forma planejar melhor as estratégias a serem implementadas nos agentes autônomos, foi realizado um estudo sobre as técnicas reais de operação em combate a incêndios de florestas.

4.1 Operações de combate

Operação de combate ou supressão de um incêndio envolve seis etapas distintas. Essas etapas são as seguintes: [17]

Deteção: Tempo decorrido entre a ignição ou início do fogo e o momento que ele é visto por alguém. Alguns métodos são o uso das torres de vigilância, patrulhamento terrestre, patrulhamento por avião ou imagens de satélites.

Comunicação: Tempo compreendido entre a deteção do fogo e o recebimento da informação por um responsável. Os aparelhos

usados para comunicação nas torres de observação são o rádio e o telefone.

Mobilização: Tempo gasto entre o recebimento da informação da existência do fogo e a saída do pessoal para combate. É necessário que haja uma pessoa responsável pela ação inicial de combate. O treinamento das equipes de combate, principalmente a de primeiro ataque, é fundamental para se conseguir sempre uma rápida mobilização do pessoal. Neste treinamento o responsável pela ação inicial de combate deve definir claramente as atribuições e responsabilidade de todo o pessoal no combate aos incêndios.

Deslocamento: Tempo compreendido entre a saída do pessoal de combate e a chegada da primeira turma ao local do incêndio. O deslocamento das equipes depende de um planejamento e da definição da estratégia de ataque ao foco de incêndio. Usualmente temos um “quartel-general” (QG) de onde partem as ordens de deslocamento para as brigadas de combate ao incêndio, pois o deslocamento deve ser planejado de forma inteligente, assim como a manutenção das posições destas brigadas durante o combate ao incêndio.

Planejamento: Tempo gasto pelo responsável pelo combate (QG) para avaliar o comportamento do fogo e planejar estratégia de combate. O planejamento inicial do deslocamento das brigadas permite um ataque ao foco de incêndio de forma coordenada, visando um melhor resultado no combate ao incêndio. O plano inicial deve ser constantemente revisado de modo a considerar a evolução da situação do deslocamento das brigadas (e.g. atrasos, bloqueios imprevistos, dificuldades de avanço) e da propagação do incêndio (e.g. mudança na direção dos ventos, novos focos de incêndio, etc).

Combate: Tempo consumido na operação de combate ou eliminação do incêndio. Deve ser considerado no tempo de combate os diferentes tipos de técnicas para combate ao incêndio, conforme indicado na seção 4.3, pois cada técnica terá um resultado e desenrolar de ações diferentes.

Em nosso protótipo foram implementadas as tarefas de deteção, comunicação, planejamento, deslocamento e combate das brigadas. O comando adotado foi o centralizado, onde existe um QG que planeja e coordena de modo automático as atividades das brigadas, os agentes móveis. As principais tarefas são, portanto, o planejamento e a constante comunicação entre brigadas autônomas e o QG de coordenação, durante o deslocamento. O combate ao incêndio será feito através da abertura de aceiros, conforme descrito nas seções seguintes.

4.2 Equipamentos de combate

O tipo e a quantidade de equipamento para combate a incêndios florestais em uma instituição florestal dependem de fatores como tipo de vegetação, topografia, tamanho da área e pessoal disponível. De um modo geral, as ferramentas e equipamentos usados no combate aos incêndios florestais são os seguintes[17]:

Ferramentas manuais: enxada, machado, foice, pá, ancinho, abafador, extintor. Úteis no combate de incêndios superficiais de baixa intensidade e no rescaldo de grandes incêndios.

Equipamentos motorizados: moto-serra, atomizador. Úteis no combate de incêndios superficiais de baixa intensidade e no rescaldo de grandes incêndios.

Equipamentos pesados: Trator com lâmina (indispensável no combate a grandes incêndios, principalmente quando se precisa abrir aceiros em vegetação pesada), motoniveladora (usada para abrir ou ampliar aceiros). Os aceiros são áreas livres de vegetação onde o fogo não consegue se propagar.

Equipamento de bombeamento de água: Moto-bomba, (útil no combate a incêndios quando existe uma boa rede de pontos de captação de água), carro-tanque (somente opera com eficiência em boas estradas), avião-tanque, (útil no lançamento de grandes quantidades de água ou retardante químico sobre os incêndios), helicóptero, (usado para despejar água sobre incêndios, através de baldes de grande porte).

4.3 Métodos e estratégias de combate

Existem pelo menos quatro métodos de combate ao fogo nos incêndios florestais [17]:

Método direto: usado quando a intensidade do fogo permite uma aproximação suficiente da brigada à linha de fogo. São usadas as seguintes técnicas e materiais: água (bombas costais, baldes ou moto-bombas); terra (pás); ou batidas (abafadores).

Método paralelo ou intermediário: Usado quando não é possível o método direto e a intensidade do fogo não é muito grande. Consiste em limpar, com ferramentas manuais, uma estreita faixa, próxima ao fogo, para deter o seu avanço e possibilitar o ataque direto.

Método indireto: Usado em incêndios de intensidade muito grande. Consiste em abrir aceiros com equipamento pesado (tratores, etc.), utilizando ainda um contra-fogo, para ampliar a faixa limpa e deter o fogo, antes que chegue ao aceiro.

Método aéreo: Usado nos incêndios de copa, de grande intensidade e área e em locais de difícil acesso às brigadas de incêndio. São usados aviões e helicópteros, especialmente construídos ou adaptados para o combate ao incêndio.

No protótipo do sistema, apenas a abertura de aceiros por veículos (agentes) móveis autônomos foi implementada. Futuras implementações poderão considerar outras técnicas de combate complementares, como, por exemplo, o uso de bombardeamento aéreo de água. Os modos indireto e aéreo são os mais usados para combater incêndios de grandes proporções, que são aqueles que possuem um maior risco de causar prejuízos humano, econômico e ambiental de grande porte.

4.4 Monitoração via satélite

A rapidez e a eficiência na detecção e monitoramento dos incêndios florestais são fundamentais para a viabilização do controle do fogo, redução dos custos nas operações de combate e atenuação dos danos. Para países de grande extensão territorial, como o Brasil, o monitoramento dos incêndios florestais através de imagens de satélites é o meio mais eficiente e de baixo custo quando comparado com os demais meios de detecção. [11]

O lançamento em 1972 do primeiro satélite Landsat possibilitou detectar alterações nas áreas florestais do espaço. Desde então, as imagens termais e do infravermelho médio têm sido usadas na detecção de incêndios e estudos de mapeamento, permitindo que áreas queimadas e não queimadas sejam detectadas através do contraste entre os gradientes térmicos [18].

A expressão “focos de calor” é utilizada para interpretar o registro de calor captado na superfície do solo por sensores espaciais. O sensor AVHRR (*advanced very high resolution radiometer*) capta e registra qualquer temperatura acima de 47°C e a interpreta como sendo um foco de calor. Apesar da resolução espacial ser baixa (1,1km), queimadas com áreas de no mínimo 900m² podem ser detectadas [19].

Como parte do esforço de monitorar e minimizar o fenômeno das queimadas, o INPE vem desenvolvendo e aprimorando desde a década de 1980 este sistema operacional de detecção de queimadas. A partir de 1998 o trabalho passou a ser feito conjuntamente com o IBAMA/PROARCO, dando ênfase particular à Amazônia. Os dados são obtidos nas imagens termais dos satélites meteorológicos NOAA quatro vezes ao dia, GOES oito vezes ao dia, e Terra e Aqua duas vezes por dia [20].

No simulador foi implementada a detecção de focos de incêndio através da simulação de um sistema de monitoramento por imagens de satélite.

5. IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

O protótipo do sistema foi implementado através de uma versão em 2D (mapa bidimensional), usando a biblioteca SDL (Simple DirectMedia Layer) [9], e de uma versão em 3D (mapa tridimensional), usando a biblioteca OSG (Open Scene Graph) [10]. A implementação em 3D também fez uso das funções de modelagem de terrenos no OSG, o *Demeter* (ver Figura 4). Esta implementação em 3D permite a visualização utilizando óculos especiais para visão estereó, junto a Sala de Visualização de Realidade Virtual da RBV criada em nossa Universidade.

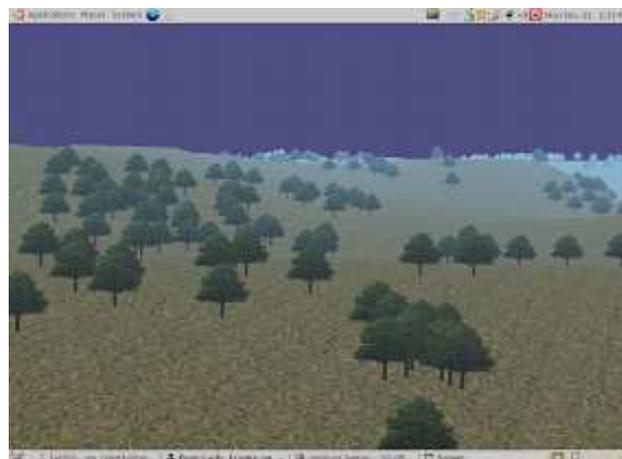


Figura 4. Terreno gerado com o OSG/Demeter.

O hardware disponível na Sala de Visualização é composto de um sistema de visão estereoscópica passivo, usando 2 projetores Christie LX34 e tela 3D com luz polarizada e óculos passivos (Figura 5), além de um monitor de 21” com óculos estereoscópico ativo (Figura 6). Os projetores e o monitor de 21” estão ligados a estações de trabalho bi-processadas Xeon 2.8 GHz e Opteron 2.4 GHz com placas de vídeo Nvidia Quadro FX 4500 (512 MB). A sala ainda possui uma parede com 6 monitores sincronizados (*LCD Wall*) e dispositivos para interação, *Gyromouse* e *SpaceBall*.



Figura 5. Projeção estereoscópica com óculos passivo.

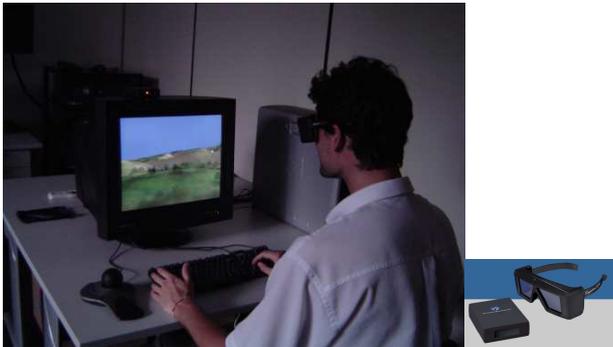


Figura 6. Projeção estereoscópica com óculos ativo.

A implementação do protótipo foi iniciada através da criação de um mapa 2D, simulando a integração das informações de terreno, vegetação e informações obtidas a partir da monitoração por satélite. Este mapa, descrito na próxima sessão, foi usado para desenvolver os algoritmos básicos de planejamento de ação dos robôs-bombeiros. Posteriormente, foi implementado um novo software usando a OSG, onde foi possível obter uma visualização 3D do ambiente (relevo, vegetação, incêndios), assim como foi possível a imersão do usuário neste ambiente através do uso dos óculos estereoscópicos. Nesta implementação o usuário tem a possibilidade de acompanhar a simulação usando técnicas de imersão em Realidade Virtual, tendo uma visão mais completa da evolução do incêndio e do combate ao incêndio realizado pelos robôs-bombeiros.

5.1 O Mapa

A informação cartográfica que motivou a criação do mapa 2D, e depois do mapa 3D, implementado neste trabalho, foi baseada nas cartas topográfica e de modelo combustível que podem ser vistas nas Figuras 7 e 8 (referenciados por suas coordenadas UTM, indicadas na legenda).



Figura 7. Fragmento de carta topográfica de UTM 0578000, 6764000 até 0584000,6770000 representando um quadrante de 6km x 6km.

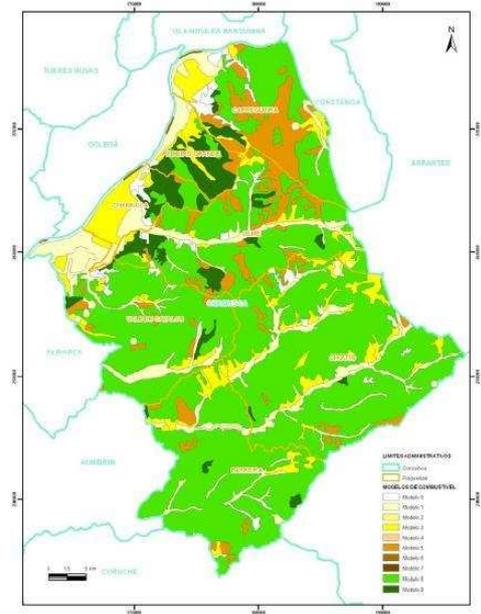


Figura 8. Carta de modelo combustível [15].

O sistema 2D foi criado com uma matriz onde inicialmente foram geradas aleatoriamente áreas com modelos de vegetação (tipos de combustíveis) e cursos água, contendo informações similares as encontradas nas cartas descritas nas Figuras 7 e 8. A Figura 9 mostra o resultado da implementação em 2D em SDL [9]. Este mapa 2D permitiu a realização dos primeiros estudos sobre o planejamento e deslocamento das brigadas de incêndio simuladas junto ao ambiente virtual.

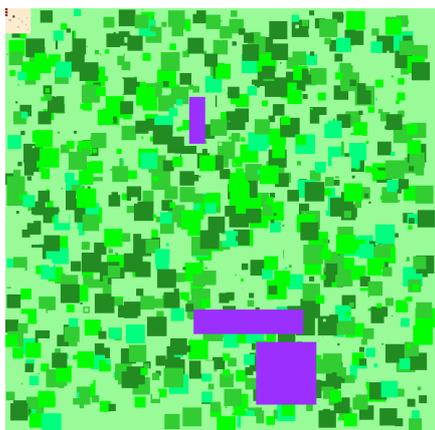
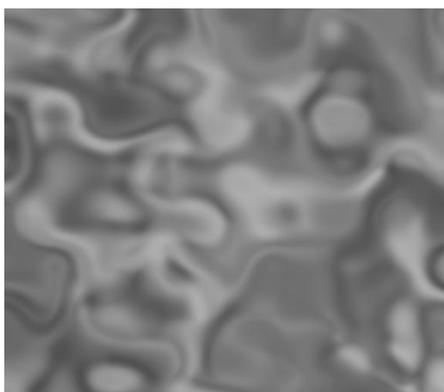


Figura 9. Mapa 2D do ambiente desenvolvido em SDL.

O mapa 2D permite visualizar a densidade da vegetação através das zonas mais escuras e mais claras, entretanto, neste tipo de visualização não é possível se ter uma noção do relevo. No terreno 3D gerado com o OSG/Demeter é possível combinar o mapa de elevação (Figura 10) juntamente com uma determinada distribuição de vegetação, criando assim um ambiente mais realista.



(a)



(b)

Figura 10. Construção do Mapa 3D: (a) Mapa de elevação (elevation map) e (b) Combinação relevo e vegetação

5.2 Fogo e vento

O fogo pode ser iniciado em uma posição aleatória ou parametrizado em uma posição inicial fixa. A velocidade de propagação respeita dados do modelo retirados de [13], considerando o vento e sua direção. Quanto ao vento, tanto a sua velocidade como a sua direção podem ser também gerados aleatoriamente ou configurados a partir de dados parametrizados pelo usuário. O tempo de permanência do fogo (Figura 11) em uma área é relacionado diretamente ao tipo da vegetação presente e se comporta baseado nos valores de tipo de vegetação, inclinação do terreno, velocidade e direção do vento. Desta forma a propagação do fogo busca simular de modo bastante realístico a forma como o fogo se propagaria em um ambiente real.

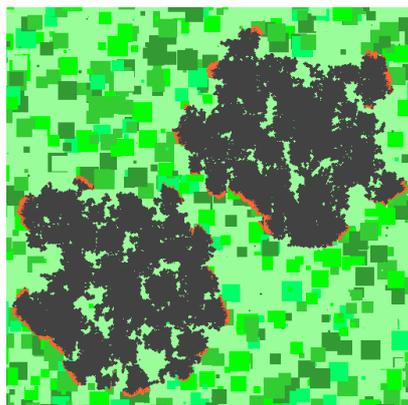


Figura 11. Exemplo de alastramento do fogo sem vento (2D).

Na Figura 11 podemos constatar que o fogo se propaga de forma mais forte nas regiões que possuem uma vegetação mais densa (regiões mais escuras do mapa), e em regiões com pouca ou nenhuma vegetação o fogo não chega praticamente a se propagar (regiões mais claras no mapa). Na visualização 3D é possível verificar a direção do vento diretamente através da dispersão da fumaça e a propagação do incêndio é apresentada através de uma simulação de fogo junto à vegetação mais alta (arbustos), e por uma textura aplicada junto ao solo que se indica a extensão da área atingida pelo fogo.

5.3 Comunicação

A simulação da comunicação é feita utilizando um sistema baseado no sistema Quadro-Negro (*blackboard*). O sistema de comunicação simula uma troca de mensagens (SMS) que vão do agente para a central, que por sua vez mantém atualizado o quadro-negro. Existem casos de comunicação um para um (agente=>QG, QG=>agente) e de um para todos (QG=>agentes). Um agente também pode se comunicar com os demais através de mensagens colocadas no quadro-negro.

A fila usada como função de quadro-negro armazena as seguintes informações: texto da mensagem, indicador de remetente, indicador de destinatário, tipo de mensagem (e.g. aviso de incêndio, aviso de fim de incêndio, negociação de times, etc).

5.4 Simulação

Atualmente estamos desenvolvendo diferentes algoritmos e estratégias para a simulação do combate aos incêndios. A simulação dos incêndios e de sua propagação já estão funcionais, onde um destaque vem sendo dado ao planejamento e execução do deslocamento das brigadas de incêndio (agentes móveis).

Na implementação realizada, simulamos a operação da seguinte maneira: um agente satélite monitora focos de incêndio. Quando percebe uma área com foco de incêndio, envia uma mensagem para o agente bombeiro líder (QG). Esta mensagem contém a posição UTM do incêndio e a densidade da vegetação na área.

O agente líder envia para todos os outros agentes uma solicitação de posição, passando a posição UTM do incêndio e recebe de volta a distância (Equação 1) de cada agente até o incêndio. Após um pequeno intervalo de tempo, o agente líder envia mensagens de formação de time para os 4 agentes mais próximos do foco de incêndio.

$$d(P, Q) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Equação 1. Distância entre dois pontos.

É importante destacar que o agente líder planeja o envio dos robôs-bombeiros (time de agentes) de modo a melhor aproveitar a posição de cada um em relação aos incêndios, de modo a cercar este incêndio, sempre respeitando a direção da propagação do incêndio (antecipando seu deslocamento).

Atualmente calculamos a distância entre agente e o foco de incêndio usando a Equação 1, que será substituída por um cálculo de distância usando um algoritmo de planejamento de trajetória do tipo A* [22], que leve em consideração diferentes custos para percorrer o terreno (e.g. locais intransponíveis, locais com grande dificuldade de travessia, locais com terreno acidentado, etc). O algoritmo A* é adequado para este tipo de implementação podendo ser aplicado sobre o mapa de elevação conjugado com informações de densidade de vegetação, estradas, rios, etc. O uso de um algoritmo mais adequado para a estimativa de custo para se alcançar o objetivo tornará a simulação bem mais realista.

Ao iniciar o deslocamento, cada agente coleta informações de sua bússola, e sabe então sua orientação. A partir disso pode orientar-se para andar em sentido do foco de incêndio, seguindo a Equação 2. Os agentes executam um comportamento reativo, direcionado pela orientação do objetivo, mas evitando passar por regiões com mata muito densa. No deslocamento, simulamos métodos simples de visão a fim de desviar de áreas muito densas de vegetação e fontes de água.

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Equação 2. Coeficiente angular.

O método de combate simulado é o indireto, explicado na Subseção 4.4, sendo assim, todos os agentes atualmente são tratores que tem como finalidade criar uma área livre de vegetação (aceiro) onde o fogo se extinguiria pela falta de combustível.

A formação para ataque dos agentes depende do vento. Em uma simulação sem vento, os agentes bombeiros devem cercar equidistantemente o foco de incêndio. No caso de existência de vento, a formação em ferradura contra o vento é mais indicada. Fórmulas trigonométricas nos permitem calcular estas posições. As posições são negociadas e confirmadas com a comunicação entre os agentes do time.

Durante o deslocamento, as informações de posicionamento e velocidade do incêndio vão sendo atualizadas pelo satélite ao agente líder e deste aos agentes do time. Os agentes do time

possuem quatro sensores de temperatura que servem como alerta. Quando a temperatura de um deles excede o máximo especificado, o agente se desloca no sentido do sensor com a menor temperatura e solicita ao agente líder a atualização da formação do time.

Os agentes bombeiros criam o aceiro considerando sua velocidade de operação no tipo da vegetação e a velocidade do fogo.

Quanto ao posicionamento na formação, dados de GPS são utilizados. Em nossa operação de coleta de dados deste equipamento, entre as 13h e 15h do dia 20/11/2006 o GPS *Garmin Etrex* indicou erro médio de 18,6 metros. Considerando que cada agente possui seu próprio GPS o tratamento deste erro é crucial na criação dos aceiros. Tratamos esta informação de duas maneiras, a primeira faz com que o erro médio deste sensor durante o deslocamento seja usado somado a distancia de criação do aceiro e também é somado ao final da área de criação, como mostra as Figuras 12 e 13.

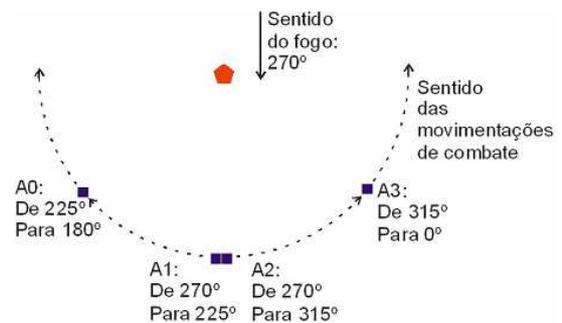


Figura 12. Exemplo de movimentação em combate quando o sentido do vento é de 270° e existem 4 agentes combatentes, considerando posicionamento sem erro.

A Figura 12 apresenta um exemplo de movimentação com “posicionamento perfeito”, o que não é possível de se obter em uma situação real. Devido ao erro de posicionamento do GPS não é possível se estabelecer uma rota que se encaixe perfeitamente como a apresentada na Figura acima. Deste modo a preparação do aceiro (semi-círculo indicado na Figura) não será executada de forma correta. Em função disto, a Figura 13 apresenta as correções que foram adicionadas ao algoritmo de modo a obter, apesar do erro de estimativa de posição, uma trajetória que permita criar um aceiro adequado (incluindo o erro do GPS no modelo de deslocamento dos agentes).

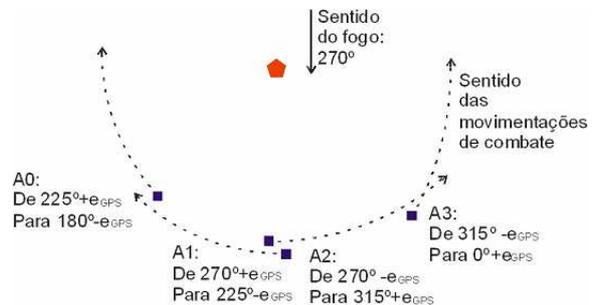


Figura 13. Exemplo de movimentação em combate quando o sentido do vento é de 270° e existem 4 agentes combatentes. Posições iniciais e finais dependem de erro médio informado pelo GPS. Esquema com limites propositalmente redundantes

As Figuras abaixo (Figuras 14 e 15) demonstram os resultados obtidos em uma das simulações realizadas com o time de robôs-bombeiros:

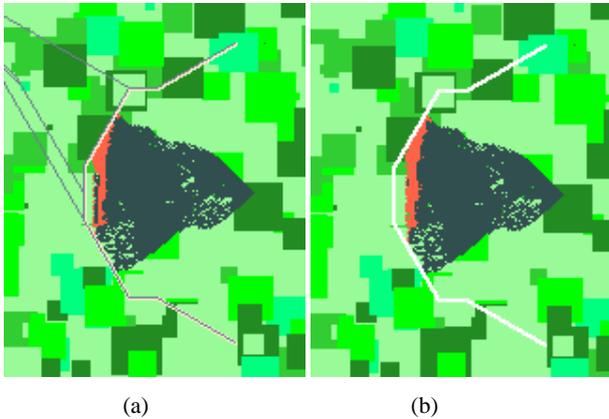


Figura 14. Simulação desconsiderando erro de GPS: (a) Trajetórias dos robôs-bombeiros e (b) Criação do aceiro

Podemos perceber na Figura acima, a trajetória de chegada dos robôs-bombeiros, bem como o trajeto definindo o aceiro para a contenção do incêndio. A visualização em 2D permite ter uma idéia mais global da simulação, entretanto, a visualização em 3D imersiva permite acompanhar melhor o desenvolvimento da ação de combate ao incêndio. Entretanto, esta simulação precisou ser refeita de modo a considerar o erro do GPS, cujos resultados são apresentados na Figura 15.

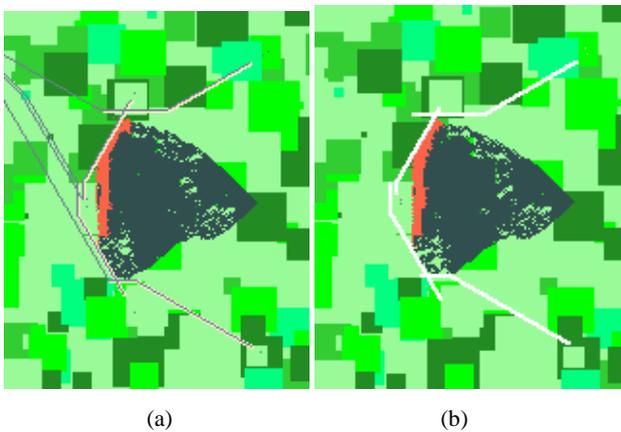


Figura 15. Simulação considerando o erro de GPS: (a) Trajetórias dos robôs-bombeiros e (b) Criação do aceiro

6. TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho possui um protótipo implementado que já apresenta funcionalidades que permitem uma simulação de incêndios e de sua propagação em florestas. Uma primeira versão de planejamento de ações de deslocamento de uma equipe de robôs-bombeiros foi proposta, entretanto, restam ainda diversos trabalhos a serem desenvolvidos, notadamente:

- Implementação de um algoritmo de planejamento de trajetórias que leve em consideração os “custos do terreno”;

- Implementação de novas estratégias de combate a incêndios, para comparação com a atual estratégia implementada, bem como para comparação com técnicas convencionais;
- Implementação de uma versão do sistema que permita o controle manual dos robôs-bombeiros, ao contrário do automático e autônomo, de modo a permitir o treinamento de equipes de combate a incêndio;
- Adaptação da atual implementação de modo a permitir uma melhor parametrização do sistema e incorporação (importação) de modelos reais de terrenos e de vegetação;
- Extensão do sistema para permitir a inclusão de novos métodos e estratégias de combate a incêndios, como por exemplo, o uso de métodos aéreos de combate ao fogo;
- Validação das simulações junto a especialistas de combate a incêndio em florestas.

7. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi detalhar a construção de um sistema de simulação multi-agente, baseado em um ambiente de realidade virtual, para o controle de incêndios em florestas utilizando agentes comunicativos. Os agentes móveis autônomos implementados têm como meta cercar focos de incêndio, negociando suas rotas. A negociação das rotas se deu através da comunicação via *blackboard* que se mostrou bastante prática de trabalhar. Como resultado deste projeto temos um protótipo do sistema que permite acompanhar a simulação e o deslocamento dos “robôs-bombeiros”, estando implementado junto a uma sala de visualização com tela de projeção e monitor adaptados ao uso de óculos estereoscópicos (ativo e passivo), permitindo assim uma melhor imersão junto ao ambiente virtual e junto a simulação. Os primeiros resultados demonstraram que ambientes de Realidade Virtual como este podem vir a ter um papel muito importante no planejamento e execução de operações de combate a incêndios em reservas naturais.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq, Unibic (Unisinos), FAPERGS e a FINEP (Projeto Rede Brasileira de Visualização) pelo apoio a este trabalho.

9. REFERÊNCIAS

- [1] Rezende, S.O., *Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações*, Ed. Manole, São Paulo, 2003.
- [2] Fonseca, J.M., *Protocolos de negociação com coligações em sistemas multiagente*, Tese de Doutorado, Universidade Nova de Lisboa, 2001.
- [3] Reis, L.P., *Coordenação em sistemas multiagente: aplicações na gestão universitária e futebol robótico*, Tese de Doutorado, Universidade do Porto, 2003.
- [4] Wooldridge, M. & Jennings, N.R., *Intelligent agents: theory and practice*, Submitted to Knowledge Engineering Review, October 1994, Revised January 1995.
- [5] Siebra, C., *Uma arquitetura para suporte de atores sintéticos em ambientes virtuais – uma aplicação em jogos de estratégia*, Dissertação de Mestrado, UFPE, 2000.

- [6] Finin, T. & Weber, J., *Draft: specification of KQML agent communication language*. DARPA Knowledge Sharing Initiative, External Interfaces Working Group, 1993.
- [7] Silva, L.A.M., *Estudo e Desenvolvimento de Sistemas Multiagentes usando JADE*, Monografia de Conclusão de Curso, Universidade de Fortaleza, 2003.
- [8] Genesereth, M.R., Ketchpel, S.P., *Software Agents*, Communications of the ACM, Vol. 37, No.7, pp49-53, 1994.
- [9] Simple DirectMedia Layer Home Page (SDL)
<http://www.libsdl.org/index.php>, acesso em 12/09/2006
- [10] Open Scene Graph (OSG) Home Page
<http://www.openscenegraph.org/>, acesso em 12/09/2006
- [11] Batista, A.C., *Detecção de incêndios florestais por satélite*, Revista Floresta 34, Mai/Ago, 2004, 237-241, Curitiba, Pr.
- [12] Soares, R.V., *Prevenção e Controle de Incêndios Florestais*, Curitiba: FUPEF, 72 p, 1979.
- [13] Koproski, L.P., *O fogo e seus efeitos sobre a herpeto e a mastofauna terrestre no parque nacional de Ilha Grande*, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2005.
- [14] Guia metodológico para elaboração de plano municipal/intermunicipal de defesa da floresta contra incêndios, Apêndice 1: Metodologia para a elaboração da carta dos combustíveis florestais. Ministério da Agricultura, 2006.
- [15] Guia metodológico para elaboração de plano municipal/intermunicipal de defesa da floresta contra incêndios, Caderno 1: Plano de ação. Ministério da Agricultura, 2006.
- [16] O que faz a Europa? Incêndios florestais.
<http://ec.europa.eu/research/leaflets/disasters/pt/forest.html>, acesso em 14/9/2006.
- [17] Laboratório de incêndios florestais, UFPR,
<http://www.floresta.ufpr.br/~firelab>, acesso em 12/9/2006.
- [18] Rimmel, T. K.; Perera, A. H. 2001. Fire mapping in a northern boreal forest: assessing AVHRR/NDVI methods of change detection. *Forest Ecology and Management* 152:119-129.
- [19] Antunes, M. A. H. 2000. Uso de satélites para detecção de queimadas e para avaliação do risco de fogo. *Ação Ambiental*, 12:24-27.
- [20] CPTEC/INPE – Centro de previsão do tempo e estudos climáticos/ Instituto nacional de pesquisas espaciais,
<http://www.cptec.inpe.br/queimadas>, acesso em 10/10/2006.
- [21] Osório, F. S., Musse, S. R., Vieira, R., Heinen, M. R., Paiva, D. C. Increasing Reality in Virtual Reality Applications through Physical and Behavioural Simulation In: *Research in Interactive Design - Proceedings of the Virtual Concept Conference (Summer School) 2006*. Springer Verlag, 2006, v.2, p. 1-45.
- [22] Russell, R.; Norvig, P. *Artificial Intelligence: A modern Approach*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1995. 932p.