

GAALAHAD DIAS DE ALMEIDA FERNANDES

**SIMULAÇÃO DE INCÊNDIO FLORESTAL NO PARQUE ESTADUAL SERRA DO
ROLA-MOÇA, MINAS GERAIS, UTILIZANDO O FARSITE™**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do grau de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

GAALAHAD DIAS DE ALMEIDA FERNANDES

**SIMULAÇÃO DE INCÊNDIO FLORESTAL NO PARQUE ESTADUAL SERRA DO
ROLA-MOÇA, MINAS GERAIS, UTILIZANDO O FARSITE™**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do grau de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 19 de dezembro de 2003.

Prof. Carlos Antônio A. S. Ribeiro

Prof. Vicente Soares Ribeiro

Prof. Wantuelfer Gonçalves

Prof. Cleverson Mello Sant’Anna

Prof. Guido Assunção Ribeiro
(Orientador)

Aos meus pais, Hélio Fernandes e Maria do Carmo.

Aos meus irmãos, Lohengrin, Siddartha, Públius, João Adolpho e Maria Rita.

A minha família, Ana Helena e Marcos.

E a todos que dedicaram sua vida à difícil tarefa de proteger a biodiversidade e os recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

Se o meu período de mestrado tivesse sido fácil, talvez minha lista de agradecimentos fosse bem menor do que ela é. Mas não foi e sendo assim, neste pequeno espaço tento fazer justiça com quem tornou esta realização possível.

Para os “anjos” (colegas, funcionários e professores) do Departamento de Engenharia Florestal, meus agradecimentos pelos incentivos e cobranças. E também pelo abrigo em suas casas, quando eu já não residia em Viçosa. Tenham na minha casa, sua casa!

Para meus familiares, sempre eles! São o remanso do mar em noites estreladas e o farol que norteia em noites nebulosas e tempestuosas. Então, mais uma vez, Obrigado!

Para minha família, minha esposa Ana Helena Rissin e meu filho Marcos Rissin Fernandes, são origem e fim (de finalidade, fique bem claro!) de tudo. Tornaram este período mais vivo, alegre, corrido, dividido, mais indo e vindo também... Enfim, mais nosso! Obrigado também!

Para finalizar, para alguém (ou alguns) que a gente nunca sabe quem é, pela bolsa concedida durante o mestrado.

Obrigado!

BIOGRAFIA

Galahad Dias de Almeida Fernandes, brasileiro, casado, nascido em Belo Horizonte no dia 19 de agosto de 1970, iniciou seus estudos na Escola Municipal José de Alencar – RJ no ano de 1977. Após concluir o segmento fundamental no ano de 1986, ingressou no Colégio Dom Pedro II – Unidade Humaitá – RJ, onde conclui o ensino médio em 1991. Formado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa em 1997, atuou na profissão até o ingresso no curso de pós-graduação em Ciência Florestal em 2001. Duas passagens no seu currículo profissional se destacam: a atuação no Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais e o intercâmbio internacional com a agência chilena Corporación Nacional Forestal – CONAF. Como Assessor da Diretoria de Monitoramento e Controle do IEF, foi idealizador, coordenador e executor da Campanha de Controle de Incêndios Florestais (CACIF) do ano de 2000, além de implantar o primeiro Calendário de Queima Regional descrito no país. No intercâmbio internacional com a CONAF, fomentou um convênio interagências e teve a oportunidade de realizar uma viagem técnica aos Parques Nacionais do Chile. No ano de 2002, nasce Marcos Rissin Fernandes, seu primeiro filho.

ÍNDICE

Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tabelas.....	x
RESUMO	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS:.....	13
2.1. Geral:.....	13
2.2. Específicos:	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1. Modelos de Comportamento do Fogo.....	14
3.2. Parâmetros do Comportamento do Fogo.....	20
3.3. O Sistema FARSITE™ de Simulação do Comportamento do Incêndio.....	23
3.3.1. Embasamento Teórico.....	23
3.3.2. Estrutura, dados de entrada e produtos do FARSITE™.....	30
3.3.2.1. Arquivos de Entrada SIG.....	31
3.3.2.2. Arquivos de Entrada ASCII.....	34
3.3.3. Parâmetros da Simulação	44
3.3.3.1. Considerações no Ajuste do Passo de Tempo.....	46
3.3.3.2. Considerações no Ajuste da Resolução do Perímetro.	47
3.3.3.3. Considerações no Ajuste da Resolução da Distância.	48
3.3.3.4. Considerações Finais do Ajuste dos Parâmetros	48
3.3.4. Mapas, Tabelas e Gráficos Produzidos pelo FARSITE™.....	49
3.3.5. Calibração e Controle do Andamento	49
3.3.6. Usos indicados e Estudos de Casos do FARSITE™.....	50
3.3.6.1. Parques Nacionais Yosemite e Glacier	51
3.3.6.2. Floresta Nacional de Gila.....	51
3.3.6.3. Refúgio Nacional de Vida Selvagem Ilha Merritt (MINWR), Flórida.....	52
3.3.6.4. Floresta Nacional de San Bernardino, Califórnia.....	53
3.3.7. Limitações, Suposições e Melhorias do Sistema FARSITE™.....	55
4. MATERIAL E MÉTODOS:.....	57
4.1. Descrição da Área de Estudo	57
4.2. Levantamento e Aquisição dos dados:	57
4.2.1. Uso do solo e cobertura vegetal:	57

4.2.2. Curvas de Nível	58
4.2.3. Clima:	58
4.2.4. Limites de Unidades de Conservação:.....	58
4.2.5. Focos de Calor	59
4.3. Reprocessamento dos dados:	59
4.3.1. Geração dos Temas Matriciais Cobertura e Combustível:	59
4.3.2. Geração dos Temas Matriciais Elevação, Declividade e Exposição:.....	64
4.3.3. Geração do perímetro do incêndio:.....	67
4.4. Construção da simulação:	69
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
5.1. Área Queimada e Formato do Incêndio	78
5.2. Perímetro do Incêndio e Estratégias de Combate.....	81
6. CONCLUSÃO	87
6.1. Considerações Gerais sobre o FARSITE™	87
6.2. Considerações Específicas sobre a Simulação do Incêndio	88
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	90
9. ANEXOS.....	100
Anexo 1: Descrição resumida dos sistemas de simulação do incêndio.....	100
Anexo 2: Fluxograma de Calibração da simulação do FARSITE™.....	101
Anexo 3: Fluxograma de Operações realizadas no software ArcView® para a derivação dos temas matriciais “cobertura” e “combustível” do P. E. Serra do Rola-Moça.	102
Anexo 4: Fluxograma de Operações realizadas no software ArcView® para a derivação dos temas matriciais “elevacao”, “declividade” e “exposicao” do Parque Estadual Serra do Rola-Moça.	103
Anexo 5: Tabela de Dados do Clima da estação Meteorológica de Belo Horizonte. Fonte: Plataforma de Coleta de Dados.....	104
Anexo 6: Tabela de Área Queimada (AQ) e do Perímetro do Fogo da simulação do incêndio no Parque Estadual Serra do Rola-Moça, entre os dias 20 e 24/10/2003 no FARSITE™.	106
Anexo 7: Formato tridimensional do incêndio simulado pelo programa FARSITE™, ocorrido no P. E. Serra do Rola-Moça durante o período de 20 a 24 de outubro de 2003.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: O comprimento de chama em relação a altura da chama dentro do zona da chama ativa.	22
Figura 2: Gráfico do comportamento do fogo, descrevendo as relações entre intensidade da linha do fogo, comprimento de chama, taxa de propagação e calor por unidade de área e as propostas táticas de supressão do incêndio. Fonte: ROTHERMEL (1983).	23
Figura 3: Gráfico de conteúdo de umidade do combustível (após 3 dias) para o tempo de resposta de três tipos de combustível mortos.....	26
Figura 4: Ilustração do princípio de Huygens com ondas elípticas. (A) Em condições uniformes, mantendo o tamanho e a forma constante das ondas. (B) Em condições não uniformes do vetor vento-declividade.....	27
Figura 5: Ilustração do princípio de Huygens com ondas elípticas. (A) Em condições de combustível uniforme. (B) Em função de quatro tipos de combustível.....	28
Figura 6: Dimensões das ondas elípticas usadas no cálculo do crescimento do incêndio com equações [1] e [2].....	28
Figura 7: Fluxograma de Funcionamento do FARSITE™ (Adaptado de FINNEY, 1998).....	30
Figura 8: Estrutura do arquivo de Paisagem (.LCP), com os 5 arquivos espaciais e as respectivas unidades.....	33
Figura 9: Estrutura de um arquivo do clima (.WTR).....	35
Figura 10: Estrutura de um arquivo de vento (.WND).....	37
Figura 11: Estrutura de um arquivo Fator de Ajuste (.ADJ), com dados fictícios.	38
Figura 12: Estrutura de um arquivo Modelo de Combustível Personalizado (.FMD).....	40
Figura 13: Estrutura de um arquivo Perfil Lenhoso Grosso (.CWD).....	43
Figura 14: Estrutura de um arquivo de Projeto (.FPJ).	44
Figura 15: Parâmetros do modelo (Fonte: FINNEY, 1998).	45
Figura 16: O mapa do incêndio de Bee ocorrido na Floresta Nacional de San Bernardino, Califórnia, de 29 de Junho a 03 de Julho de 1996. Os polígonos apresentam as várias partes do incêndio, assim como ele evoluiu no tempo.....	53
Figura 17: Modelo de Mesoescala dos ventos do incêndio de Bee em 29 de Junho de 1996. Os vetores apresentam o fluxo do vento a 10 m acima da superfície.....	54
Figura 18: Perímetros real e simulado do incêndio de Bee, Califórnia. O perímetro “MSM” foi simulado com a entrada do vento a partir do MSM e o perímetro “Pine Cove” é da simulação com a estação meteorológica de Pine Cove.....	54

Figura 19: Interpolação usada para generalizar os pontos entre a temperatura e a umidade máxima e mínima para tempos específicos no fluxo do clima. Fonte: FINNEY (1998).	56
Figura 20: Espaço vazio entre os temas MI 2572 e MI 2573, na escala 1:10.000.	60
Figura 21: Correção dos espaços vazios entre os temas MI 2572 e MI 2573, na escala 1:10.000.	60
Figura 22: Mapa Temático do Uso do Solo para a região de interesse do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.	61
Figura 23: Mapa Temático "cobertura" para a área de interesse do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.	63
Figura 24: Mapa Temático "Modelo de Combustível" para a área de interesse do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.	63
Figura 25: Modelo Digital de Elevação da área de interesse do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.	65
Figura 26: Mapa temático "elevação" do entorno do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.	66
Figura 27: Mapa temático "declividade" do entorno do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.	66
Figura 28: Mapa temático "exposição" do entorno do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.	67
Figura 29: Estrutura da consulta simples da tabela "Focos" no Microsoft Access®.	68
Figura 30: Tabela "focos" do ArcView criada a partir do banco de dados "Focos de Minas.mdb".	68
Figura 31: Focos de Calor indicando a projeção do formato aproximado do perímetro total do incêndio.	69
Figura 32: Teste dos Parâmetros do Modelo de Combustível número 14 na janela Custom Surface Fuel Models do FARSITE™.	72
Figura 33: Editor do arquivo do vento (.WND) do FARSITE.	73
Figura 34: Editor do arquivo "Air Resource" do FARSITE.	76
Figura 35: Evolução da simulação de incêndio através da área queimada inclinada e a área queimada horizontal.	78
Figura 36: Períodos de maior e menor avanço do incêndio florestal.	79
Figura 37: Simulação dos perímetros do incêndio pelo programa FARSITE™, ocorrido no Parque Estadual Serra do Rola-Moça entre 20 e 24/10/2003,	80
Figura 38: Comparação entre a área queimada simulada pelo programa FARSITE™ e a área queimada projetada pelos satélites NOAA-12, NOAA-16 e MODIS para o incêndio no Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG, entre 20 e 24/10/2003.	81
Figura 39: Visualização da localização dos perímetros do incêndio mais propícios para o combate.	82

Figura 40: Visualização do arquivo Direção de Propagação do FARSITE, indicando as direções de propagação do incêndio e as frentes de combate (FC) 1, 2 e 3.....	82
Figura 41: Visualização do arquivo "Taxa de Propagação" do FARSITE.....	83
Figura 42: Visualização do arquivo "Intensidade do Fogo" do FARSITE, indicando as intensidades da linha do fogo.	84
Figura 43: Localização dos aceiros em relação a tipologia vegetal e ao perímetro do incêndio.	84
Figura 44: Localização dos aceiros em relação a elevação do terreno e ao perímetro do incêndio.....	85
Figura 45: Resultado parcial da simulação de combate aéreo e terrestre no FARSITE™.....	86
Figura 46: Resultado final da simulação de combate aéreo e terrestre no FARSITE™.....	86

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos sistemas de simulação do incêndio quanto ao método e a técnica adotados.	20
Tabela 2: Relação entre Intensidade da linha do fogo e métodos de extinção.	21
Tabela 3: Relação entre a Intensidade do fogo e a altura das chamas.	22
Tabela 4: Descrição dos modelos de combustível do NFFL adotados pelo FARSITE™.	25
Tabela 5: Exemplo de um modelo de combustível no formato NFFL.....	25
Tabela 6: Entrada de dados espaciais no FARSITE™.	31
Tabela 7: Arquivos ASCII necessários para a construção do arquivo de Projeto (.FPJ).....	34
Tabela 8: Descrição dos campos do arquivo Modelo de Combustível (.FMD).....	40
Tabela 9: Referências para o Ajuste do Passo de Tempo.....	46
Tabela 10: Variáveis de saídas geradas pelo FARSITE™.	49
Tabela 11: Classes de Uso do Solo e Cobertura Vegetal adotadas pelo IEF.	58
Tabela 12: Tabela de atributos do tema " area_inter.shp" com as 9 classes de uso do solo. ...	61
Tabela 13: Inserção dos campos "%_cobert" e "combust", com os respectivos valores para cada classe.	62
Tabela 14: Arquivos gerados pela exportação dos arquivos SPR do SPRING.....	65
Tabela 15: Valores de Umidade inicial atribuídos aos modelos de combustíveis.	71
Tabela 16: Valores atribuídos aos modelos de combustível.....	71
Tabela 17: Índices Climáticos do arquivo .WTR do FARSITE™.....	72
Tabela 18: Valores do arquivo Período de Queima do FARSITE.	73
Tabela 19: Estrutura do arquivo "Ground Resources" do FARSITE™.....	74
Tabela 20: Parâmetros do comportamento do fogo calculados pelo FARSITE™.....	77
Tabela 21: Classificação da velocidade de propagação do fogo.	77
Tabela 22 : Comparação entre a área queimada simulada pelo FARSITE e as áreas real e projetada.	79
Tabela 23: Discriminação da tipologia vegetal queimada.	80
Tabela 24: Tamanho das equipes de combate.....	85

RESUMO

FERNANDES, Gaalahad Dias de Almeida, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2003. **Simulação de Incêndio Florestal no Parque Estadual Serra do Rola-Moça, Minas Gerais, Utilizando o FARSITE™**. Orientador: Guido Assunção Ribeiro. Conselheiros: Carlos Antônio A. Ribeiro e Vicente Soares Ribeiro.

O uso do fogo como instrumento ecológico ainda ensaia os primeiros passos no Brasil. Diante do desafio de manejar o fogo com eficiência, tecnologias recentes possibilitam um melhor entendimento da evolução do comportamento do fogo pela paisagem. Imagens de satélite, Sistemas de Informações Geográficas e sistemas especialistas que simulam o avanço do incêndio, trazem a expectativa de um salto técnico no gerenciamento dos recursos naturais. O objetivo deste trabalho foi analisar o sistema computacional FARSITE™ como instrumento de treinamento de brigadas, de suporte nas operações de combate e de avaliação dos danos causados por incêndios. Para testar o uso operacional do sistema, os resultados da simulação do FARSITE™ foram comparados com os dados gerados pelos satélites NOAA-12, NOAA-16 e MODIS do incêndio ocorrido no Parque Estadual Serra do Rola-Moça, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, entre os dias 20 e 24 de outubro de 2003. A área queimada real foi de 3.400 ha segundo relatos de funcionários do IEF, enquanto a área queimada na simulação atingiu 3.443,845 ha. 76,8% da área queimada simulada coincidiu com o formato da área queimada projetada pelos satélites. Os principais motivos para a diferença entre os formatos foram a desatualização dos dados espaciais de cobertura vegetal e combustível, a utilização dos dados de apenas uma estação meteorológica e a falta de parâmetros para quantificar o modelo matemático do material combustível. Mesmo com estas limitações, o sistema de simulação de propagação de incêndio FARSITE™ permitiu entender o comportamento do fogo na região, propor estratégias de combate e analisar e quantificar os danos com mais precisão. Assim, o FARSITE se mostrou uma ferramenta com grande potencial para o treinamento de brigadas, ações de pré-supressão (tratamentos do material combustível), gerenciamento de recursos de combate e avaliação dos danos provocados.

Palavras-chave: FARSITE, SIG, Incêndios Florestais

ABSTRACT

FERNANDES, Gaalahad Dias de Almeida, M.S., Universidade Federal de Viçosa, December, 2003. **Forest Fire Simulation in Serra do Rola-Moça State Park, Minas Gerais, Using of FARSITE™**. Adviser: Guido Assunção Ribeiro. Committee Members: Carlos Antônio A. Ribeiro and Vicente Soares Ribeiro.

The use of the fire as ecological instrument still rehearses the first steps in Brazil. Before the challenge of handling the fire with efficiency, recent technologies make possible a better understanding of the evolution of the behavior of the fire for the landscape. Satellite images, Systems of Geographical Information and specialist systems that simulate the progress of the fire, bring the expectation of a technical jump in the administration of the natural resources. The objective of this work was to analyze the system FARSITE™ as instrument of training of brigades, of support in the combat operations and of evaluation of the damages caused by fires. To test the operational use of the system, the results of the simulation of FARSITE™ were compared with the data generated by the satellites NOAA-12, NOAA-16 and MODIS of the fire happened in the Serra do Rola-Moça State Park, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, between the 20-24 October, 2003. The real area was of 3.400 ha in agreement with employees reports of IEF, while the burned area in the simulation reached 3.443,845 ha. 76,8% of the simulate area coincided with the format of the burned area projected by the satellites. The principal reasons for the difference among the formats were the unupdate of the space data of vegetable and combustible covering, the use of the data of just a meteorological station and the lack of parameters to quantify the mathematical model of the combustible material. Even with these limitations, the system of simulation of fire propagation FARSITE™ allowed to understand the behavior of the fire in the area, to propose combat strategies and to analyze and to quantify the damages with more precision. Like this, FARSITE was shown a tool with great potential for the training of firefighters, pré-suppression actions (treatments of the combustible material), administration of combat resources and evaluation of the damages.

1. INTRODUÇÃO

O Parque Estadual Serra do Rola-Moça sofre todos os anos com os incêndios florestais. Os danos provocados pelos incêndios não se restringem as perdas da biodiversidade local, mas atinge também uma importante fonte de captação de água para a região metropolitana de Belo Horizonte. Além disto, afasta o turista que procura pelos belos cenários desta região montanhosa.

O Instituto Estadual de Florestas, assim como o Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, destina recursos humanos, materiais e financeiros na tentativa de minimizar os efeitos destes incêndios. Estas instituições, com grande experiência no controle dos incêndios florestais, ressentem de novas tecnologias que as auxiliem no controle do comportamento do fogo.

Agências governamentais dos Estados Unidos e Canadá, por exemplo, utilizam de imagens de satélites, softwares e sistemas com sucesso, o que lhes permite avaliar as áreas de risco, monitorar o avanço e os danos provocados por um incêndio. Estas ferramentas além de diminuir os custos associados ao combate, aumentam a eficiência e segurança dos combatentes.

O sistema FARSITE™ - Simulador de Área do Incêndio, considerado por muitos a melhor ferramenta de gerenciamento de recursos de combate, é um sistema que prediz o comportamento do incêndio em uma paisagem com variações topográficas, climáticas e de material combustível. O FARSITE™ tem auxiliado no manejo florestal dos combustíveis, no treinamento de brigadas e na quantificação dos danos provocados as formações florestais.

2. OBJETIVOS:

2.1. Geral:

Analisar o sistema computacional FARSITE™ como instrumento de treinamento de brigadas, de suporte nas operações de combate e de avaliação dos danos causados por incêndios.

2.2. Específicos:

- Comparar os resultados da simulação do incêndio realizada no FARSITE™ com o incêndio ocorrido na área de estudo.
- Gerar mapas temáticos com a finalidade de caracterizar os parâmetros do comportamento do fogo na área de estudo.

- Quantificar os danos ocorridos no Parque Estadual Serra do Rola-Moça como consequência do incêndio.
- Analisar estratégias alternativas de combate ao incêndio.
- Desenvolver uma base de dados para o uso em atividades acadêmicas e de treinamento de brigadas.
- Identificar as limitações operacionais do FARSITE™ com o intuito de adequar às situações locais e regionais de controle e combate.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Modelos de Comportamento do Fogo

A complexidade dos fatores que influenciam um incêndio florestal criou a necessidade de estudos que possam prever o comportamento do incêndio. A falta de informação sobre os incêndios florestais conduziu à criação de modelos matemáticos que predizem o comportamento potencial de um fogo (GRUPE, 1998). A modelagem do comportamento do fogo vem se tornando um meio prático de quantificar o fenômeno incêndio florestal, constituindo uma ferramenta para decidir e organizar as atividades de prevenção, as estratégias e táticas de combate e o treinamento dos brigadistas (BOTELHO *et al.*, 1989; BROWN & DAVIS, 1973).

Os primeiros modelos de comportamento do fogo exigiam que o modelador estimasse as variáveis de entrada e as condições ambientais manualmente ou pela calculadora a partir de mapas topográficos e/ou chaves (por exemplo, cálculos de declividade e aspecto, velocidade do vento de meia-chama, etc.) (GRUPE, 1998). Os modelos usavam nomogramas de papel (gráficos interconectados) para resolver as equações matemáticas e calcular o comportamento potencial do fogo. Os nomogramas só forneciam saídas numéricas e tiveram pouca capacidade de prever a distribuição espacial do incêndio em uma paisagem.

Hoje em dia, há muitos modelos de comportamento do incêndio, cada um utilizando um método diferente para prever o processo de propagação do fogo. Um modelo do comportamento do fogo é uma equação simplificada que procura simular o incêndio através dos fatores que mais o influenciam. Isto torna o modelo apenas representação de uma realidade específica, com limitações as quais restringem seu uso (BATISTA, 1998).

Pode-se classificar os modelos de comportamento do fogo em quatro tipos diferentes: físico, físico-estatístico, estatístico e probabilístico (ALBRIGHT & MEISNER, 1999).

Os modelos físicos predizem a propagação do fogo baseado na física da combustão. Eles distinguem entre três modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. Os modelos de ALBINI (1986) são exemplos de modelos físicos, pois propagam o fogo pelo aquecimento radiativo bidimensional balanceado com a reação de liberação da umidade pelos combustíveis.

Os modelos físico-estatísticos combinam a teoria física com a correlação estatística para gerar fórmulas para o comportamento do fogo. Um exemplo deste tipo de modelo inclui o modelo de ROTHERMEL (1972), que baseado no princípio de conservação da energia, representa a taxa de propagação do fogo como uma função da densidade do combustível, do tamanho da partícula, da densidade da massa e da taxa de consumo do combustível. Outro exemplo deste tipo de modelo é o Sistema Canadense de Predição do Comportamento do Incêndio Florestal (FBP) (FORESTRY CANADA FIRE DANGER GROUP, 1992), que baseado em pesquisas físicas da umidade e na teoria da transferência de calor, usa observações a partir de 495 incêndios experimentais e florestais para relacionar as características do combustível às características do comportamento do incêndio. O sistema FBP é usado para descrever o comportamento do incêndio em 16 tipos específicos de combustível descritos em 5 grupos principais de combustível (coníferas, decíduas, madeira misturada, corte e aberto).

O sistema de comportamento do fogo mais adotado e difundido começou a ser desenvolvido pelo Serviço Florestal Americano a partir da década de 40. Mas somente durante os anos 70 e 80 é que surge o sistema BEHAVE – Sistema de Modelagem do Combustível e da Predição do Comportamento do Fogo. O BEHAVE é um sistema que incorpora o modelo de ROTHERMEL (1972), caracterizando o modelo do comportamento do fogo através da carga do combustível (biomassa por área), da relação superfície/ volume para diferentes tamanhos de combustível, da profundidade da camada de combustível, da densidade de partículas e da umidade de extinção. O sistema, que também requer dados do conteúdo de umidade do combustível morto e do combustível vivo, declividade, direção e velocidade do vento, prediz os parâmetros do comportamento do fogo de forma unidimensional. Ele considera que as variáveis de entrada permaneçam constantes para a simulação inteira (ANDREWS, 1986), sendo

projetado para descrever uma frente da chama avançando em combustíveis de superfície com menos de 1,8 m do chão (ROTHERMEL, 1983).

Os modelos estatísticos de predição de incêndios ajustam um conjunto de equações para dados derivados a partir de incêndios-testes. As equações predizem os parâmetros do fogo tais como a taxa de propagação, o consumo de combustível e a intensidade da linha de fogo. Como o modelo estatístico não é baseado em processos físicos, sua aplicação é limitada para condições semelhantes a esses incêndios-testes. Dentre os modelos estatísticos, McArthur (McARTHUR, 1966; NOBLE *et al.*, 1980) descreve o comportamento do fogo em gramíneas e na floresta é baseado em mais de 800 incêndios, mas não considera a relação física entre os parâmetros.

Os modelos probabilísticos de predição de incêndios estão baseados em tabelas de contingência no lugar de equações físicas ou estatísticas. Nos modelos probabilísticos, cada variável ambiental (como o tipo e a umidade de combustível e a velocidade do vento) é atribuído a uma das várias categorias discretas. As probabilidades nas tabelas de contingência são usadas então para simular a provável propagação do incêndio a partir de um local para o próximo (HARGROVE *et al.*, 1993). Como os valores numéricos para as probabilidades não são baseados em processos físicos, os modelos probabilísticos são aplicáveis somente sob condições semelhantes a esses para os quais eles foram desenvolvidos. Eles normalmente são usados para simular a ignição e a probabilidade de propagação para uma seqüência de incêndios hipotéticos sobre uma paisagem, não para predizer a taxa de propagação para um incêndio específico.

Todos sistemas de simulação de incêndio usam, além de um modelo de predição de incêndio subjacente, uma técnica de simulação do incêndio para representar a propagação do fogo pela paisagem. As técnicas de simulação de incêndios diferem pela forma como elas representam a paisagem e o processo de propagação. As principais técnicas de simulação da propagação do fogo são a *Bond Percolation*, Autômato Celular e Propagação de Onda Elíptica.

A técnica *Bond Percolation* (STAUFFER, 1985) citado por ALBRIGHT & MEISNER (1999) de simulação do incêndio representa a paisagem como uma grade quadrada, de caixas triangulares ou hexagonais. Usuários podem ajustar a probabilidade de propagação para a direção devido a fatores tais como velocidade do vento, topografia e diferenças nos tipos de combustível (MACKAY & JAN, 1984; OHTSUKI & KEYES, 1986). Uma técnica de *bond percolation* deve ser “refinada” ajustando as probabilidades tal que a propagação do incêndio modelado seja

comparável aos incêndios atuais sobre terreno semelhante e debaixo de climas e condições de combustível semelhantes. Como a técnica não está baseada em um processo físico, o sucesso da simulação da propagação do incêndio é limitado às condições semelhante para os quais a técnica foi afinada.

HARGROVE *et al.* (1993) descrevem um sistema chamado EMBYR, que usa um modelo probabilístico e a técnica de *Bond Percolation* para a propagação célula a célula do incêndio. O EMBYR é um sistema que não foi projetado para prever o comportamento horário ou diário de um incêndio particular, e sim prever os padrões potenciais de queima de grandes incêndios, determinando as variações da escala da paisagem em tipos de combustível e padrões climáticos de uma área. Porém, a diversidade na composição de espécies florestais e as classes de idade sob condições variadas de umidade de combustível imprimem uma dificuldade de gerar os mapas e as tabelas probabilidade.

Como a técnica de *bond percolation*, a técnica Autômato Celular de simulação de incêndio representa a paisagem como uma grade de caixas ou células, cada uma com um conjunto de possíveis valores para declividade, exposição, tipo de combustível ou condição de combustível. A propagação do fogo se dá como um processo de contágio entre células (KOURTZ & O'REGAN, 1971; KOURTZ *et al.*, 1977; GREEN, 1983). Cada célula começa em um estado inicial na hora de ignição. A probabilidade do incêndio se propagar para cada célula na grade é determinada pelo estado futuro da célula e ao estado das células vizinhas. Usuários podem usar os parâmetros tais como o tipo e umidade de combustível, topografia e clima para determinar a propagação do incêndio pela grade. Como as regras relacionadas à propagação do incêndio entre a grade de células podem estar baseadas em processos físicos, a técnica de Autômato Celular pode ser aplicada a uma larga variedade de condições.

As críticas mais contundentes em relação à técnica Autômato Celular parecem ser a distorção das formas do fogo causadas pela geometria quadriculada da paisagem (BALL & GUERTIN, 1992) e ausência de informação na propagação entre células, vital para sincronizar os efeitos das mudanças temporais do clima ou da umidade de combustível ao redor do perímetro de fogo. FRENCH (1992) ressalta que nenhum dos modelos celulares simulou adequadamente a propagação do fogo debaixo de condições de teste, com heterogeneidade espacial e temporal. Modelos celulares podem ser determinísticos ou ter uma modificação probabilística ou fractal (CLARKE *et al.*, 1994) para taxas de propagação e/ ou de direções.

Um exemplo de uso da técnica Autômato Celular é o sistema desenvolvido por CLARKE *et al.* (1993) que usa simulações de propagação de incêndios florestais para avaliar o perigo de incêndio. O sistema simula o comportamento do incêndio para vários focos de incêndio ou para um único incêndio sob condições constantes e variáveis (CLARKE *et al.*, 1994).

O DYNAFIRE (KALABOKIDIS *et al.*, 1991; HAY, 1991) é um outro exemplo de sistema que usa a técnica de Autômato Celular. O DYNAFIRE estima o comportamento potencial do incêndio para solucionar espacialmente o modelo de predição de incêndio do BEHAVE (ANDREWS, 1986). Os tipos de combustível correspondem aos modelos padrões de combustível do BEHAVE, sendo que os parâmetros do comportamento do fogo permanecem constantes dentro das células mas podem variar entre células. O DYNAFIRE é uma macro que roda dentro do sistema pMAP (SPATIAL INFORMATION SYSTEMS INC., 1986) relacionando o clima, o combustível e os dados de terreno.

O sistema FIREMAP (BALL & GUERTIN, 1992) também usa a técnica de Autômato Celular para simular a propagação de incêndio de superfície por combustíveis heterogêneos sobre terreno não-uniforme. Incorporando o programa BEHAVE (ANDREWS, 1986) como o modelo de comportamento de incêndio subjacente, o FIREMAP prediz a direção, a velocidade e a intensidade do incêndio de superfície. O FIREMAP oferece a opção de especificar a umidade do combustível ou calculá-la usando as equações do BEHAVE. Outros dados de superfície incluem direção e velocidade do vento, hora do dia, temperatura e umidade relativa. Variações diurnas na temperatura e umidade são calculadas usando curvas típicas.

A técnica de simulação da propagação do incêndio em Onda Elíptica projeta a paisagem como um meio contínuo ao invés de uma grade quadriculada ou de células. O fogo se propaga por sobre um tempo finito usando pontos que definem a frente de fogo como fontes independentes de pequenas ondas elípticas. Estas pequenas elipses podem ser pensadas como formando um envelope ao redor do perímetro original, onde a margem exterior representa a nova frente do fogo. Este processo foi descrito como princípio de Huygens (ANDERSON *et al.* 1982), dedicado ao matemático holandês Christian Huygens no século XVII, que delineou a expansão de ondas de luz.

O princípio de Huygens foi utilizado para modelar do crescimento do fogo de várias formas. A aplicação mais antiga foi publicada por SANDERLIN & SUNDERSON (1975) que desenvolveram o "modelo de propagação radial do fogo" usando um campo de vento de 3 dimensões, uma representação matricial dos combustíveis e da

topografia. Isto gerou projeções razoáveis do crescimento de fogo (SANDERLIN & SUNDERSON, 1975; SANDERLIN & VAN GELDER, 1977).

ANDERSON *et al.* (1982) descreveram a matemática e o princípio de Huygens aplicado a dados de perímetro de um fogo de teste, achando isto satisfatório como um modelo de crescimento de fogo. FRENCH *et al.* (1990) e FRENCH (1992) empregaram técnicas gráficas de “bloco-cópia” (*block-copy*) para produzir frentes de fogo. A técnica de “quatro-pontos” (BEER, 1990; FRENCH, 1992) usa 4 pontos em um perímetro elíptico que corresponde a seus eixos principais e secundários como os pontos de propagação que formam os novos perímetros do fogo.

RICHARDS (1990) derivou analiticamente uma equação diferencial que propaga qualquer ponto usando uma forma de fogo elíptica. A técnica de RICHARDS (1990) é empregada no modelo FARSITE e usada nos vértices do polígono do perímetro de fogo como os pontos de propagação. O mesmo resultado é alcançado pelo método de ROBERTS (FRENCH, 1992), no qual os segmentos de linha entre os vértices são os objetos de propagação. KNIGHT & COLEMAN (1993), DORRER (1993) e WALLACE (1993) também desenvolveram procedimentos para calcular as posições do perímetro de fogo baseado no princípio de propagação de onda de Huygens. Recentemente, RICHARDS (1995) estendeu suas equações para ampliar as diferentes formas do fogo a partir da elipse simples (*lemniscate, double ellipse, etc*).

Dois sistemas utilizam a técnica de propagação da onda elíptica, o WILDFIRE e o FARSITE – Simulador da Área do Incêndio. WILDFIRE (WALLACE, 1993) oferece um sistema simples para simular o comportamento do incêndio sob várias condições físicas. Sua técnica de propagação de onda elíptica requer a especificação da taxa de propagação da frente do incêndio e os parâmetros do formato elíptico, tais como os caracterizados pelo sistema canadense de predição do comportamento do fogo FBP (FORESTRY CANADA FIRE DANGER GROUP, 1992), para predizer a posição da linha de fogo com o passar do tempo. As condições climáticas são assumidas como espacialmente uniformes, mas a velocidade do vento pode ser mudada com o passar do tempo. Os produtos consistem em mapas dos perímetros do incêndio a passos definidos pelo usuário e uma intensidade final da linha do fogo. A precisão do sistema permanece sendo avaliada para os incêndios atuais.

FARSITE (FINNEY, 1994) simula a propagação e o comportamento do incêndio baseado no sistema BEHAVE (ANDREWS, 1986) e na técnica de propagação de onda elípticas de RICHARDS (1990). As umidades do combustível são calculadas usando os dados do clima a partir de estações de observação disponíveis. O FARSITE faz

simulação da transição do incêndio de superfície para o incêndio de copa e simula incêndios provocados por lançamento de fagulhas a partir do tição (pedaço de madeira acesa ou meio queimada, com ou sem chama capaz de agir como uma fonte de ignição).

A classificação dos sistemas de simulação do comportamento do fogo é mostrada na Tabela 1. A descrição detalhada dos sistemas pode ser vista no Anexo 1.

Tabela 1: Classificação dos sistemas de simulação do incêndio quanto ao método e a técnica adotados.

Técnica de Simulação	Modelo de Predição			
	Físico	Físico- estatístico	Estatístico	Probabilístico
Bond Percolation	--	--	--	EMBYR
Autômato Celular	--	DYNAFIRE FIREMAP	--	Sistema de Clarke
Propagação de Onda Elíptica	--	FARSITE WILDFIRE	--	--

Fonte: ALBRIGHT & MEISNER, 1999.

3.2. Parâmetros do Comportamento do Fogo

O comportamento do fogo pode ser caracterizado por quatro parâmetros: a taxa de propagação, a intensidade da linha do fogo, o comprimento de chama e a energia liberada.

Taxa de propagação é definida como o tempo médio que leva uma frente de incêndio de estado constante para percorrer uma determinada distância (metros/min ou pés/min). Um incêndio de estado constante é o que se move como uma frente sólida independente de sua fonte de ignição e influências a partir de outros incêndios (ROTHERMEL, 1972).

Em experimentos de queima conduzida em plantações de *Eucalyptus pilularis*, afirmam COUTO & CANDIDO (1980), a velocidade de propagação média encontrada foi de $0,009 \text{ m.s}^{-1}$, em uma área com cerca de $4,9 \text{ ton.ha}^{-1}$ de combustível. Os autores relatam ainda que em plantações de *Pinus elliottii*, a velocidade atingiu $0,0085 \text{ m.s}^{-1}$ quando uma área foi queimada contra o vento, com $9,8 \text{ ton.ha}^{-1}$ de combustível e 34% de umidade. Queimado a favor do vento, a velocidade foi de $0,0155 \text{ m.s}^{-1}$, com $7,96 \text{ ton.ha}^{-1}$ e 49% de umidade. Segundo SOARES (1982), numa queima controlada, a velocidade varia de $0,005 \text{ m.s}^{-1}$ a $0,01 \text{ m.s}^{-1}$ e incêndios de grandes proporções chegam atingir a $5,0 \text{ m.s}^{-1}$ (18 km.h^{-1}).

Intensidade da intensidade do fogo pode ser obtida através da seguinte equação: linha do fogo é a taxa de calor ou energia liberada por unidade de tempo por unidade de comprimento de frente do fogo (kW.m^{-1} ou $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) (BYRAM, 1959). A estimativa da

$$I = H \times w \times r$$

onde I = intensidade de calor (kW/m)

H = calor de combustão (kJ.kg^{-1})

w = carga do material combustível disponível (kg.m^{-2})

r = velocidade de propagação (m.s^{-1})

BROWN & DAVIS (1973), citados por BATISTA (1998), afirmam que pequenos incêndios dificilmente excedem o nível de intensidade de 2.000 kW.m^{-1} , enquanto os incêndios de grande magnitude podem ultrapassar 60.000 kW.m^{-1} .

A intensidade da linha do fogo fornece tanto uma indicação de severidade e conseqüências do incêndio, quanto sugere as praticas de supressão. ROUSSOPOLUS & JOHNSON (1979), citados por BATISTA (1998), relacionam a intensidade do fogo com o método de extinção conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Relação entre Intensidade da linha do fogo e métodos de extinção.

Comprimento Chama (m)	Intensidade (Kw.m^{-1})	Indicadores
< 1,2	< 345	<ul style="list-style-type: none"> • O fogo pode ser atacado pela frente ou pelos flancos, com equipamentos manuais. • Aceiros manuais podem segurar o fogo.
1,2 – 2,4	345 – 1.730	<ul style="list-style-type: none"> • Não é indicado o ataque frontal do fogo. • Aceiros manuais não contém o fogo. • Equipamentos pesados (aviões, tratores, caminhões...) podem ser necessários.
2,4 – 3,4	1.730 – 3.460	<ul style="list-style-type: none"> • Sérios problemas para o controle do fogo. Possibilidade de incêndios de copa e de mancha (spotting). • Tentativa inútil de conter a frente do fogo.
> 3,4	> 3.460	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas com o descontrole do fogo. Ocorrência generalizada de incêndios. • Tentativa inútil de conter a frente do fogo

Fonte: ROTHERMEL, 1983.

A intensidade do fogo é um parâmetro físico que pode ser relacionado com o comprimento de chama (AGEE, 1996). O comprimento de chama é a distância entre a ponta da chama e o solo ou a superfície do combustível que está queimando a meio caminho na zona da chama ativa (ROTHERMEL *et al.*, 1980). O comprimento de chama pode ser igual à altura de chama, mas um não deve ser confundido com o outro, visto que ventos fortes ou declividades íngremes causam uma chama mais comprida que alta (Figura 1).



Figura 1: O comprimento de chama em relação a altura da chama dentro do zona da chama ativa.

SOARES (1977) relacionou a intensidade do fogo com a altura das chamas e de queima (Tabela 3).

Tabela 3: Relação entre a Intensidade do fogo e a altura das chamas.

Intensidade (kcal. m ⁻¹ .s ⁻¹)	Descrição
4,13 a 9,92	Altura das chamas é menor que 0,3 m e o fogo é auto-extinguível.
10,75 a 41,34	As chamas podem chegar a 0,9 m e a altura da queima pode alcançar 4,5 m. Pequena chance do fogo ultrapassar as linhas de combate.
42,17 a 57,88	As chamas podem chegar a 1,5 m e a altura da queima pode alcançar 9 m. Dificuldades para conter o fogo nas linhas de combate.
58,70 a 82,68	Intensidade máxima aceitável para florestas comerciais.

Obs.: 1 kcal. m⁻¹.s⁻¹ = 1 kW.m⁻¹ x 0,2388333

BYRAM (1959) relaciona a intensidade do fogo com o comprimento de chama através da seguinte equação:

$$I = 257 \times (L)^{2,17}$$

onde I = intensidade do fogo (kW.m⁻¹)

L = comprimento da chama (m)

O calor ou energia liberada é a quantidade de calor produzido pela combustão por unidade de área. É um parâmetro altamente relacionado com os efeitos e danos provocados pelos incêndios. A equação que descreve o calor liberado é uma relação entre a intensidade do fogo e a velocidade de propagação, sendo

$$H_a = I / r$$

onde H_a = calor liberado (kJ.m⁻²)

I = intensidade do fogo (kW.m⁻¹)

r = velocidade de propagação (m.s⁻¹)

Todos os parâmetros do comportamento do fogo associados de forma simbiótica, sugerem as atividades mais indicadas para a supressão do incêndio (Figura 2).

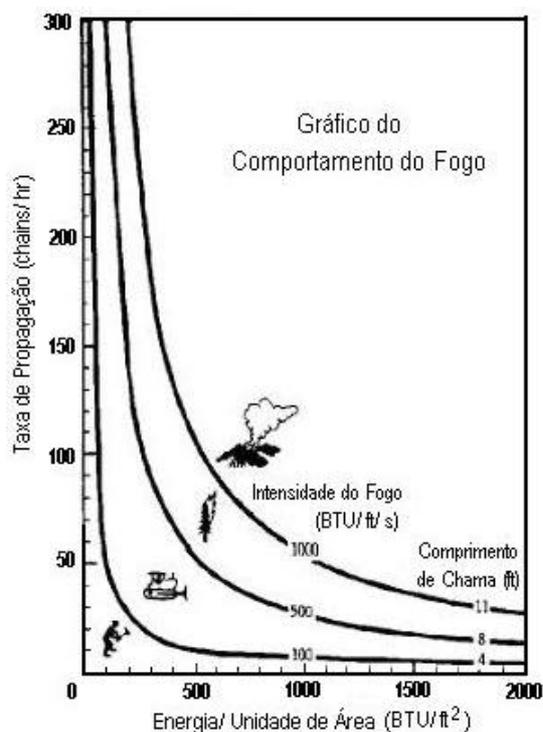


Figura 2: Gráfico do comportamento do fogo, descrevendo as relações entre intensidade da linha do fogo, comprimento de chama, taxa de propagação e calor por unidade de área e as propostas táticas de supressão do incêndio. Fonte: ROTHERMEL (1983).

3.3. O Sistema FARSITE™ de Simulação do Comportamento do Incêndio

3.3.1. Embasamento Teórico.

Os recentes avanços em softwares computacionais e tecnologia de hardware têm possibilitado o desenvolvimento de vários modelos espaciais de simulação do comportamento do fogo (ANDREWS, 1989). Com o advento de poderosas *workstations*, um número crescente de sistemas levou a predição do comportamento dos incêndios florestais para além das tabelas e gráficos, com a produção de mapas digitais e exibições tridimensionais (ALBRIGHT & MEISNER, 1999). Avanços na tecnologia de computação e o aumento do entendimento do comportamento do fogo têm tornado os modelos de crescimento do incêndio mais precisos e confiáveis (GRUPE, 1998).

Alguns destes programas de computação têm a habilidade de projetar o crescimento futuro do incêndio e calcular possíveis parâmetros de incêndios florestais para aplicações no planejamento ou para simulações de tempo real (CAMPBELL *et al.* 1995; RICHARDS, 1990). Segundo KEANE *et al.* (2000), um dos melhores modelos espaciais do crescimento do incêndio é o programa de computação FARSITE™ - Simulador de Área de Incêndio (FINNEY & RYAN, 1995; FINNEY, 1998) disponível

para computadores pessoais compatíveis com o padrão IBM. O FARSITE simula o comportamento espacial e temporal do fogo sobre uma paisagem com condições heterogêneas de topografia, combustíveis e clima (FINNEY, 1998).

O FARSITE foi desenvolvido para uso em um computador pessoal (PC) em ambiente operacional Microsoft Windows (FINNEY & RYAN, 1995). A versão 1.0 foi disponibilizada em janeiro de 1995 e a versão atual é a 4.0.4. A plataforma do PC torna a simulação disponível para qualquer usuário em qualquer lugar, inclusive no local do incêndio.

O FARSITE é um sistema baseado no modelo de crescimento de incêndio de superfície de ROTHERMEL (ROTHERMEL, 1972; ALBINI, 1976). A equação do modelo calcula a taxa de propagação ($m \cdot \text{min}^{-1}$) em estado constante (*steady-state*) em um plano paralelo com a superfície do chão para cada vértice.

$$R = \frac{I_R \hat{I} (1 + \Phi_W + \Phi_S)}{\tilde{n}_b \hat{a} Q_{ig}}$$

onde R = taxa de propagação da frente do fogo ($m \cdot \text{min}^{-1}$)

I_R = intensidade de reação ($\text{kJ} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

\hat{I} = relação do fluxo de propagação

\tilde{n}_b = densidade de massa seca em estufa ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

\hat{a} = número efetivo de aquecimento, menor dimensão.

Q_{ig} = calor da pré-ignição ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Φ_W = coeficiente do vento

Φ_S = coeficiente de declividade

Para processar o modelo de ROTHERMEL, KEANE *et al.* (1998) relatam que o FARSITE usa as rotinas do comportamento do fogo encontrada no modelo de incêndio unidimensional BEHAVE (ANDREWS, 1986; ANDREWS & CHASE, 1989). Tal como o BEHAVE, o FARSITE adota o formato e os 13 modelos de combustível do *National Forest Fire Laboratory – NFFL* (Tabela 4). A estrutura do modelo (Tabela 5) contém informação quantificada sobre a carga do combustível (peso por área), relação área superficial/ volume para classes de tamanho de combustível, profundidade e conteúdo de umidade de combustível (ANDERSON, 1982).

Tabela 4: Descrição dos modelos de combustível do NFFL adotados pelo FARSITE™.

Modelo Comb.	Combustível Típico	Carga do Combustível (tons/ acre)				Camada Comb. (ft)	Umidade Extinção (%)
		1 h	10 h	100 h	Vivo		
Gramíneas							
1	Pequenas (1ft)	0.74	0.00	0.00	0.00	1.0	12
2	<i>Timber</i> (gramíneas e subosque)	2.00	1.00	0.50	0.50	1.0	15
3	Grandes (2,5 ft)	3.01	0.00	0.00	0.00	2.5	25
Chaparral e Campos Arbustivos							
4	Chaparral (6 ft)	5.01	4.01	2.00	5.01	6.0	20
5	Arbustos (2 ft)	1.00	0.50	0.00	2.00	2.0	20
6	<i>Dormant brush, hardwood slash</i>	1.50	2.50	2.00	0.00	2.5	25
7	<i>Southern rough</i>	1.13	1.87	1.50	0.37	2.5	40
Litter Florestal							
8	<i>Litter florestal fechado</i>	1.50	1.00	2.50	0.00	0.2	30
9	<i>Litter de folhosas</i>	2.92	0.41	0.15	0.00	0.2	25
10	<i>Timber (litter e subosque)</i>	3.01	2.00	5.01	2.00	1.0	25
Slash							
11	<i>Light logging slash</i>	1.50	4.51	5.51	0.00	1.0	15
12	<i>Medium logging slash</i>	4.01	14.03	16.53	0.00	2.3	20
13	<i>Heavy logging slash</i>	7.01	23.04	28.05	0.00	3.0	25

Tabela 5: Exemplo de um modelo de combustível no formato NFFL.

Modelo Comb.	Carga do Combustível (ton/ acre)			Relação Área/ Volume (ft ⁻¹)			Camada Comb. (ft)	Umidade Extinção (%)	Conteúdo Calor (BTU/ lb)	
	1h	10 h	100 h	1 h	Comb. Herbáceo	Comb. Lenhoso			Comb. morto	Comb. vivo
17	4.0	4.0	7.0	8.0	2500	2000	0,05	35	8000	9000

Os combustíveis são tradicionalmente classificados conforme seu tempo de resposta (tempo que o combustível alcança o equilíbrio no conteúdo de umidade), tais como os combustíveis de 1 h correspondem a combustíveis lenhosos cilíndricos de tamanho de 0 - ¼' (0 - 0,635 cm), o combustível de 10 h corresponde combustíveis lenhosos cilíndricos de ¼'-1' (0,635 - 2,54 cm), o de 100 h corresponde combustíveis lenhosos cilíndricos de 1'-3' (2,54 - 7,62 cm) e 1000 h corresponde a combustível de 3'-8' (7,62 - 20,32 cm).

O FARSITE usa um modelo para calcular a umidade de combustíveis mortos durante a simulação em resposta as variações climáticas (Figura 3). Os modelos de umidade de combustível mortos são importantes porque alteram a taxa de propagação do incêndio, a intensidade do fogo, o consumo de combustível e as emissões do modelo de contra-fogo (*burnup*) (ALBINI & REINHARDT, 1995).

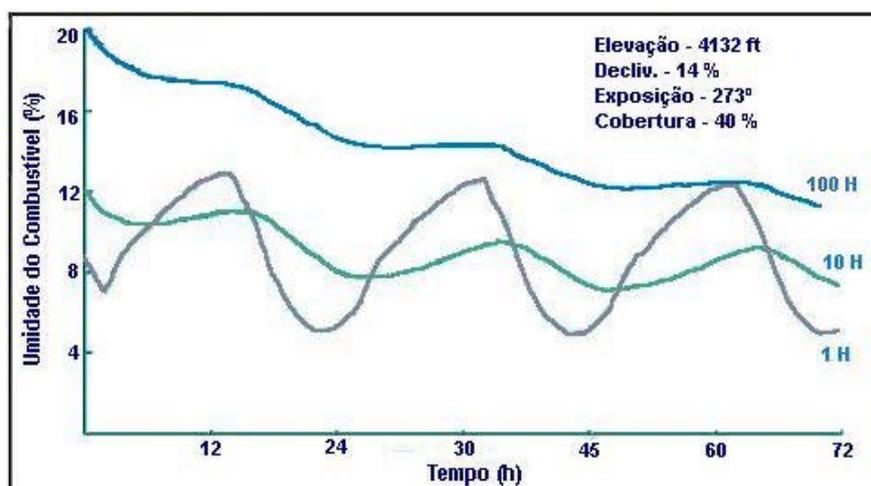


Figura 3: Gráfico de conteúdo de umidade do combustível (após 3 dias) para o tempo de resposta de três tipos de combustível mortos.

Para os combustíveis vivos, o FARSITE assume que o conteúdo de umidade permanece constante ao longo da simulação (mas este pode ser mudado no arquivo *Initial Fuel Moisture*). A versão 4.0 do FARSITE implementou o modelo de NELSON (2000) para calcular o conteúdo de umidade de combustíveis com tempo de resposta de 10 h. Com algumas modificações de NELSON, o modelo também controla as outras classes de tamanho de combustível (100 h e 1.000 h). Este modelo substitui os modelos desenvolvidos por ROTHERMEL *et al.* (1986) para o BEHAVE (ANDREWS, 1986) e DEEMING *et al.* (1977) para o NFDRS (BRADSHAW *et al.*, 1984), usado nas versões anteriores do FARSITE. O novo modelo de umidade de combustível (NELSON, 2000) calcula a troca de água entre o ambiente e a superfície de um pedaço de madeira cilíndrica e o transporte de água dentro da própria madeira. É assumido que a madeira esteja sem casca e depositada sobre chão. Para o aumento da eficiência, a umidade de combustível de 1h no FARSITE é obtida de um cálculo que envolve o equilíbrio de conteúdo de umidade (BRADSHAW *et al.*, 1984) em vez do cálculo de 1 h de Nelson. Ainda não há nenhum modelo geral de umidade de serapilheira, então a relação empírica desenvolvida por HARRINGTON (1982) é usada para prever o conteúdo de umidade de serapilheira a partir do valor de umidade de combustível de 100 h.

Já o modelo de crescimento do incêndio de copa usado no FARSITE™ foi desenvolvido por VAN WAGNER (1977, 1993) e é similar ao implementado no *Canadian Forest Fire Behavior Prediction System - FBP* (FORESTRY CANADA FIRE DANGER GROUP, 1992). O modelo determina se o incêndio permanecerá queimando na superfície ou fará a transição para a queima dos combustíveis de copa. Neste

modelo, a equação assume que a transição do incêndio de copa I_o (kW.m^{-1}) é dependente do conteúdo de umidade foliar M (porcentagem do peso seco, determina a energia de ignição) e a altura da base da copa (CBH) (VAN WAGNER, 1989).

$$I_o = (0.010 CBH (460+25.9 M))^{3/2}$$

O FARSITE™ ainda adota os modelos para incêndio de mancha de ALBINI (1979) e o modelo da aceleração do fogo de McALPINE & WAKIMOTO (1991).

O FARSITE™ é baseado também no princípio de propagação de onda de Huygens (ANDERSON *et al.*, 1982). Esta técnica simula o crescimento de uma frente de incêndio como uma onda elíptica bidimensional (Figuras 4 e 5). O princípio de Huygens diz essencialmente que uma onda pode ser propagada a partir de pontos na sua extremidade que servem como fontes independentes de ondas menores (RICHARDS, 1990).

Padrões de propagação de incêndio gerados usando o princípio de Huygens concordam razoavelmente bem com a propagação de incêndio de superfície observada sob condições relativamente simples (ANDERSON *et al.* 1982; FRENCH, 1992). Ainda não é confirmado como o princípio de Huygens' simula crescimento de incêndio em paisagens complexas.

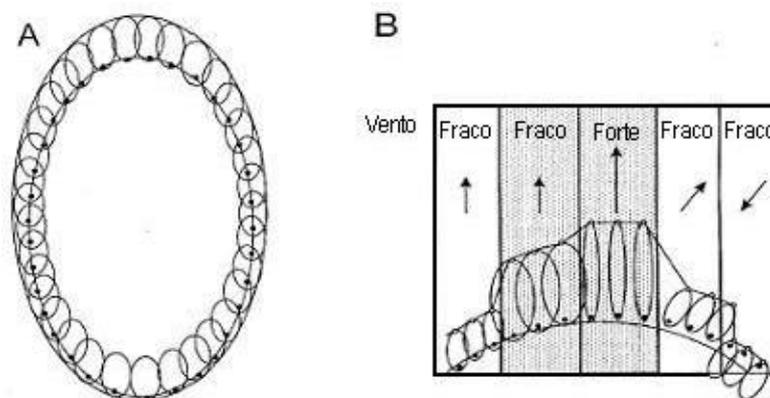


Figura 4: Ilustração do princípio de Huygens com ondas elípticas. (A) Em condições uniformes, mantendo o tamanho e a forma constante das ondas. (B) Em condições não uniformes do vetor vento-declividade.

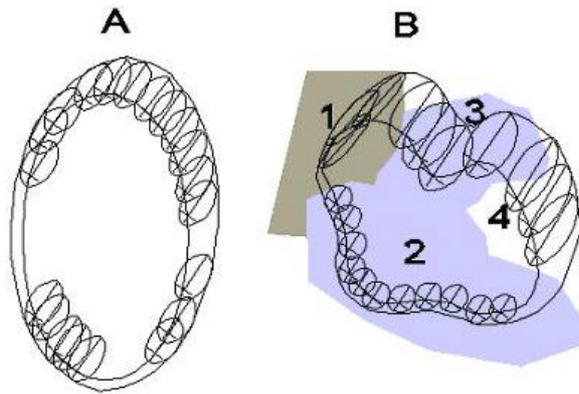


Figura 5: Ilustração do princípio de Huygens com ondas elípticas. (A) Em condições de combustível uniforme. (B) Em função de quatro tipos de combustível.

O método escolhido para implementar o princípio de Huygens como um modelo de crescimento de incêndio foi desenvolvido por RICHARDS (1990, 1995). As suas equações diferenciais descrevem a expansão de uma frente de onda elíptica a partir de uma série de vértices que define a extremidade de um incêndio. O princípio de Huygens assume que cada vértice pode servir como a fonte de uma expansão elíptica independente. A informação requerida para cada vértice inclui:

- (A) a orientação do vértice na frente do incêndio em termos de diferencial do componente X_s e Y_s (m);
- (B) a direção da taxa máxima de propagação do incêndio \hat{e} (o vetor resultante vento-declividade, azimute em radianos);
- (C) a forma de um incêndio elíptico determinado a partir das condições locais para aquele vértice em termos de dimensões a , b e c ($m \cdot \text{min}^{-1}$).

A partir destes dados, a equação de Richards (Figura 6) calcula a taxa de propagação ortogonal diferencial ($m \cdot \text{min}^{-1}$) de X_t e Y_t para um determinado vértice.

$$X_t = \frac{a^2 \frac{x_s \sin \hat{e} + y_s \cos \hat{e}}{(b^2 (x_s \cos \hat{e} + y_s \sin \hat{e})^2 - a^2 (x_s \sin \hat{e} - y_s \cos \hat{e})^2)^{1/2}} - b^2 \sin \hat{e} (x_s \cos \hat{e} - y_s \sin \hat{e})}{(b^2 (x_s \cos \hat{e} + y_s \sin \hat{e})^2 - a^2 (x_s \sin \hat{e} - y_s \cos \hat{e})^2)^{1/2}} + c \quad [1]$$

$$Y_t = \frac{-a^2 \sin \hat{e} (x_s \sin \hat{e} + y_s \cos \hat{e}) - b^2 \cos \hat{e} (x_s \cos \hat{e} - y_s \sin \hat{e})}{(b^2 (x_s \cos \hat{e} + y_s \sin \hat{e})^2 - a^2 (x_s \sin \hat{e} - y_s \cos \hat{e})^2)^{1/2}} \quad [2]$$

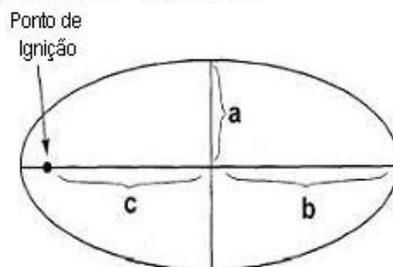


Figura 6: Dimensões das ondas elípticas usadas no cálculo do crescimento do incêndio com equações [1] e [2].

As equações de RICHARDS (1990, 1995) foram originalmente desenvolvidas para terrenos planos, nos quais o sistema de coordenada horizontal permanece inalterado quando projetado sobre a superfície terrestre. Isto não é verdadeiro para terrenos inclinados. Para realizar as transformações para um terreno inclinado, RICHARDS (1990, 1995) derivou uma série de equações para referenciar as coordenadas de cada vértice (x_i, y_i) pela superfície local.

O símbolo θ nas equações [1] e [2] representa o ângulo do vetor resultante vento-declividade para a direção de propagação máxima do incêndio ($0 \leq \theta \leq 2\pi$) na declividade local em um dado vértice (x_i, y_i) . O vetor resultante foi calculado para incêndios de superfície usando o coeficiente de menor dimensão para a velocidade do vento de meia-chama Φ_w e para a declividade Φ_s a partir da equação de propagação de ROTHERMEL (1972) e WILSON (1980).

$$\Phi_s = 5.275 \tan^{-0.3} \theta^2$$

$$\Phi_w = C(3.281 U)^B [\rho / \rho_{op}]^{-E}$$

onde ρ é a relação de empacotamento (*packing*) da camada de combustível e θ é a declividade (em radianos), U é a velocidade do vento de meia-chama ($m \cdot s^{-1}$) e C, B e E são os coeficientes do tamanho de partícula do combustível (BURGAN, 1987; ROTHERMEL, 1972).

Os vetores de componente usados para a direção de propagação de incêndios de superfície são altamente dependentes das características da camada de combustível de superfície e assim não são necessariamente aplicáveis para determinar a direção de propagação de incêndios de copa. Porém, como a taxa de propagação de incêndios de copa usada no FARSITE foi escolhida a partir da correlação com a taxa de propagação de superfície do combustível modelo 10 (ROTHERMEL, 1991) (Tabela 4, página 27), a formulação presente usou o vetor vento-declividade para a direção de propagação do incêndio de copa como calculado a partir destes coeficientes de declividade e de vento (fator de redução do vento de 0,4). Na realidade, este fator de redução do vento não é muito diferente da velocidade do vento de "meia-chama" para incêndios de copa assumidos por ROTHERMEL (1991) para ser 1/2 do vento aberto (6,1 m sobre chão).

Uma maneira sucinta de relatar o processo de propagação do incêndio é que as taxas de propagação do modelo de ROTHERMEL, dadas pelas condições do combustível, determinam o tamanho de cada ponto da origem da elipse, enquanto o vetor vento-declividade atribui a forma e a direção da elipse. As taxas de propagação calculadas são então multiplicadas pelo passo de tempo (*Time Step*) para obter as

posições de todos os pontos na frente de fogo ao término do passo de tempo. Então, o FARSITE conecta todos os pontos ao término das ondas menores usando algoritmos topológicos e isto delinea uma linha de incêndio em um determinado momento.

3.3.2. Estrutura, dados de entrada e produtos do FARSITE™.

A estrutura, os dados de entrada, as opções de controle e os produtos do FARSITE™ podem ser visualizados através do fluxograma de funcionamento do programa na Figura 7. As etapas de funcionamento do FARSITE™ podem ser divididas em quatro estágios:

- (A) entrada de dados: fornecimento dos 5 arquivos espaciais e 7 arquivos textos exigidos pelo sistema;
- (B) ajustes do sistema: ajustes que determinam o andamento da simulação, podendo variar de uma simulação para outra, conforme o objetivo do simulador;
- (C) exibição da simulação: os controles ou comandos que permitem acompanhar a performance durante a simulação, tais como o botão de controle “*Step Through*” que fornece informações sobre o comportamento do fogo, o comando “*Landscape Display*” que modifica a interface gráfica da paisagem, entre outros;
- (D) os produtos de saída da simulação: as tabelas, gráficos e mapas que registram o evento incêndio e os parâmetros do comportamento do fogo.

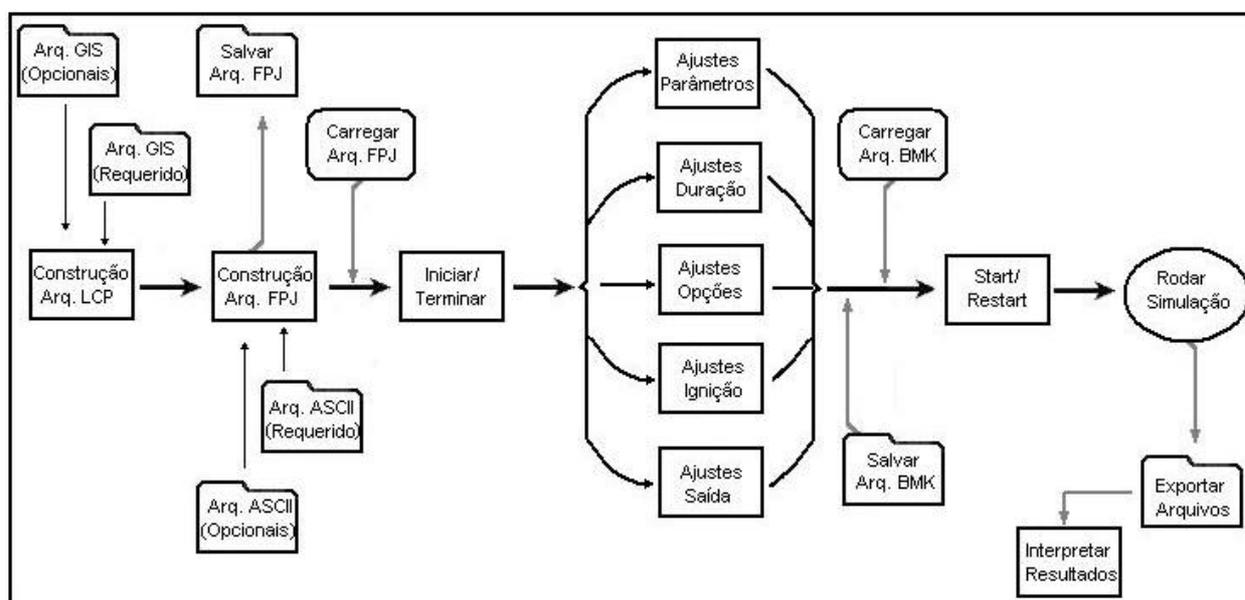


Figura 7: Fluxograma de Funcionamento do FARSITE™ (Adaptado de FINNEY, 1998).

3.3.2.1. Arquivos de Entrada SIG.

Para gerar, administrar e manejar os dados espaciais, o *FARSITE™* requer o apoio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que pode ser da linha Arc (GIS, View, Explorer ou Info) ou GRASS. Estes dados, após sua preparação no SIG, devem ser exportados no formato texto *American Standard Code Information Interchange* (ASCII). Todos os temas devem:

- **ser co-referenciado** - ter o mesmo ponto de referência, projeção e unidade;
- **ter resolução idêntica** - o tamanho da célula deve ser igual para todos os temas;
- **ter a mesma extensão** – as coordenadas do retângulo envolvente devem ser as mesmas.

O cabeçalho dos arquivos espaciais do formato ARC/GRID ASCII e GRASS ASCII deve seguir o seguinte padrão de exportação:

- ARC/GRID ASCII – NCOLS NROWS XLLCORNER YLLCORNER CELLSIZE
NODATA_VALUE
- GRASS ASCII - NORTH: SOUTH: EAST: WEST: ROWS: COLS:

Para rodar uma simulação de incêndio são necessários 5 arquivos espaciais (temas) no formato raster (matricial). Os temas de elevação, declividade, aspecto (exposição), além de cobertura vegetal e de material combustível são obrigatórios para qualquer simulação (Tabela 6).

Tabela 6: Entrada de dados espaciais no FARSITE™ .

Nome	Extensão	Obrigatório/ Opcional	Unidades Padrões	Unidades alternativas
Elevação	.txt	obrigatório	metros	pés
Declividade	.txt	obrigatório	graus	porcentagem
Exposição	.txt	obrigatório	categorias 1-25	graus
Cobertura vegetal	.txt	obrigatório	categorias 1-4	porcentagem
Modelo Combustível	.txt	obrigatório	13 modelos NFFL	personalizado ou convertido
Altura de árvore	.txt	opcional	metro*10	metros, pés,
Altura da Base da copa	.txt	opcional	metro *10	metros, pés,
Densidade da Massa da Copa	.txt	opcional	kg/ m ³ *100,	kg/ m ³ , lbs/ ft ³ , lbs/ ft ³ *100,
Carga de Serapilheira	.txt	opcional	Mg/ ha	ton/ acre
Perfil do Lenho	.txt	opcional	modelos de lenho	nenhum

O tema de elevação é um dos temas matriciais exigidos para rodar qualquer simulação, com as unidades em metros ou pés acima do nível do mar. Este tema é necessário para o ajuste adiabático da temperatura e da umidade e para conversão da propagação do fogo entre as distâncias horizontal e de declive.

O tema de declividade também é um dos temas matriciais exigidos, com as unidades em graus inteiros (embora possam ser lidos valores decimais) ou porcentagem de inclinação horizontal. O tema de declividade é necessário para calcular os efeitos do relevo na propagação do fogo e na radiação solar. O tema de declividade pode ser derivado a partir do tema de elevação.

O tema de exposição é mais um dos temas matriciais exigidos e contém os valores para a orientação topográfica solar. Se os dados de exposição são de um arquivo ASCII GRASS, então todos os valores são orientados à esquerda do leste; a escolha das unidades depende da versão do GRASS que estiver sendo usada: versões mais recentes calculam graus como valores inteiros para o grau mais próximo, mas versões mais antigas produzem 25 categorias de 15 graus, com a categoria 25 representando terrenos planos. Já os arquivos ASCII ARC/INFO têm seus valores em azimute (graus à direita do norte) e pode ser inteiros ou decimais. O tema de aspecto pode ser derivado a partir do grid de elevação

O tema de cobertura é um arquivo matricial obrigatório para rodar uma simulação, sendo necessário para calcular os fatores de redução do vento e do sombreamento para todos os modelos de combustível. A cobertura é a porcentagem horizontal da superfície do chão que é coberto pelas copas das árvores. A cobertura não é igual ao fechamento de copa, pois este se refere à condição ecológica da densidade relativa da copa da árvore. Pode se dizer que um local está "fechado" para o recrutamento de árvores de cobertura e ainda assim ter 40% ou 50% de cobertura. As unidades de cobertura podem ser em categorias (1-4) ou valores de porcentagem (0-100). São assumidas categorias da seguinte maneira:

- Categoria 1 – de 1 a 20%
- Categoria 2 – de 21 a 50%
- Categoria 3 – de 51 a 80%
- Categoria 4 – de 81 a 100%

com a cobertura zero especificada pelos valores 0 ou 99.

O tema modelo de combustível é a espacialização do arquivo Modelo de Combustível (*Fuel_Model*, extensão .FMD), que contém os modelos matemáticos para a caracterização da vegetação como material combustível. O tema pode e deve ser

derivado a partir do grid de cobertura de vegetação. O tema assume valores inteiros, entre 1 e 50, para especificar o modelo de combustível. Os valores de 1 a 13 são reservados para os modelos de combustível padrão NFFL (*Northern Forest Fire Laboratory*) (ANDERSON, 1983), sendo os valores de 14 a 50 atribuídos aos modelos personalizados. Também é possível a conversão dos 13 modelos NFFL para um padronizado, mas isso só é indicado quando exceder os 37 modelos (14 a 50). Os números dos modelos de combustível 0, 98 e 99 são usados para células sem combustível, tal como a água é representada pelo número 98 e é exibida na cor azul pelo FARSITE™. Os modelos de número 0 e 99 são exibidos pelo FARSITE™ na cor cinza escuro. O tema modelo de combustíveis pode ser derivado a partir de um shapefile ou grid de cobertura de vegetação.

Alguns temas espaciais são "opcionais", o que significa que não se precisa deles para rodar uma simulação de incêndio na superfície. Estes temas são exigidos para calcular alguns aspectos do comportamento do fogo, como por exemplo, parâmetros do incêndio de copa e o consumo de combustível que são importantes para uma análise final. Qualquer um dos cinco temas opcionais (Altura, Altura da Base da Copa, Densidade de Massa da Copa, Perfil do Lenho e Serapilheira) pode ser desenvolvido usando o processo de derivação usado para o arquivo Fuel_Model (.FMD).

Uma vez que os cinco arquivos espaciais são fornecidos, o FARSITE™ combina estes temas em um único arquivo de paisagem (*Landscape File - .LCP*). O comando "Input / Landscape Utilities / Generate Landscape" gera o arquivo de paisagem com os cinco temas espaciais (Figura 8).

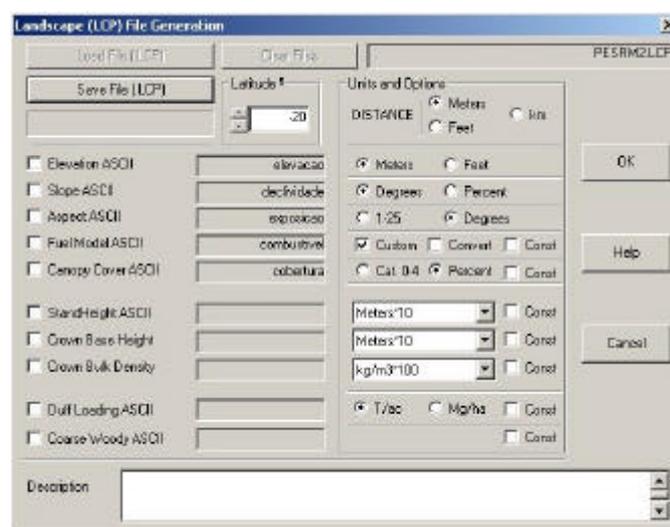


Figura 8: Estrutura do arquivo de Paisagem (.LCP), com os 5 arquivos espaciais e as respectivas unidades.

3.3.2.2. Arquivos de Entrada ASCII

Após a criação do arquivo de paisagem (.LCP) com os cinco arquivos espaciais (elevação, declividade, exposição, cobertura e combustível), o FARSITE™ requer mais cinco arquivos de entrada de dados para a construção do arquivo de projeto (.FPJ). Além do arquivo de paisagem (.LCP), os arquivos do Clima (.WTR), Vento (.WND), Fatores de Ajuste (.ADJ) e Umidade Inicial dos Combustíveis (.FMS) são obrigatórios para qualquer simulação (Tabela 7). O quinto arquivo, modelo de combustível, depende do tema combustível, podendo ser um arquivo de Modelo de Combustível Personalizado (.FMD) se o tema contiver modelos personalizados ou o arquivo de Conversão do Modelo de Combustível (.CNV) se houver a necessidade de converter os 13 modelos padrão NFFL.

Todos estes arquivos texto estão no formato *American Standard Code Information Interchange* (ASCII), o que significa que pode-se editar, criar e vê-los em qualquer editor de texto, tal como *Notepad*, *WordPad* ou uma planilha eletrônica. Os arquivos de ASCII são construídos ou editados de dois modos básicos: com um editor de texto ou com os Editores Personalizados (*Custom Editors*) a partir da janela “**FARSITE™ Project**”.

Tabela 7: Arquivos ASCII necessários para a construção do arquivo de Projeto (.FPJ).

Nome	Extensão	Obrigatório/ Opcional	Observação
Clima	(.WTR)	obrigatório	Permite até 5 arquivos ou 1 tema.
Vento	(.WND)	obrigatório	Permite até 5 arquivos ou 1 tema.
Fatores de Ajuste	(.ADJ)	obrigatório	Ajuste local da Taxa Propagação do Fogo. Embora exigido, este arquivo pode consistir somente de 1
Umidade Inicial do Combustível	(.FMS)	obrigatório	FARSITE™ precisa das umidades pelo menos um dia antes do começo da simulação.
Modelos de Combustível Personalizado	(.FMD)	obrigatório/ opcional	Para modelos de combustível diferentes dos 13 modelos do padrão NFFL.
Modelo de Conversão do Combustível	(.CNV)	obrigatório/ opcional	Converte os 13 modelos do padrão NFFL para modelos personalizados.
Período de Queima	(.BPD)	opcional	Especifica um período de queima diário através da data do clima.
Perfil Lenhoso Grosso	(.CWD)	opcional	

❖ Arquivo do Clima (.WTR)

O arquivo do Clima (.WTR) é um arquivo texto ASCII obrigatório para qualquer simulação do FARSITE™. Este arquivo contém observações diárias da temperatura e da umidade como também da precipitação, descrevendo um fluxo temporal do clima. O FARSITE™ permite entrada de tempo em unidades inglesas ou métricas. A estrutura do arquivo é a seguinte:

Month	Day	Precip	Hour1	Hour2	Temp1	Temp2	Humid1	Humid2	Elevation	Rt1	Rt2
-------	-----	--------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-----------	-----	-----

- **Mês:** valores de 1 a 12.
- **Dia:** valores até 31.
- **Precipitação:** é a quantidade de chuva diária especificada em centésimo de uma polegada ou milímetros (inteiro).
- **Hora1:** corresponde a hora na qual a temperatura mínima foi registrada (0 a 2400).
- **Hora2:** corresponde a hora na qual a temperatura máxima foi registrada (0 a 2400).
- **Temperaturas (Temp1 mínima; Temp2 máxima):** em graus Fahrenheit ou Centígrado (inteiros).
- **Umidades (Humid1, máxima; Humid2, mínima):** em porcentagem, de 0 a 99 (inteiros).
- **Elevação:** acima do nível do mar em pés ou metros.
- **Duração da precipitação:** entrada com a hora (0 a 2400) do começo (rt1) e do fim (rt2). Só um período de tempo por dia é permitido.

O arquivo do clima (.WTR) tem a estrutura abaixo, com as unidades selecionadas inserindo a palavra ENGLISH ou METRIC na primeira linha do arquivo, como demonstra a Figura 9.

ENGLISH											
8	10	00	600	1500	48	99	94	11	2400		
8	11	00	600	1500	46	96	78	14	2400		
8	12	07	600	1600	48	90	74	14	2400	1830	2000
8	13	00	600	1500	42	86	86	19	2400		

Figura 9: Estrutura de um arquivo do clima (.WTR).

A temperatura e a umidade são interpoladas entre as horas de máxima e mínima de cada dia. Estes dados também são extrapolados para elevações diferentes na paisagem usando o tema de elevação no arquivo de Paisagem (.LCP).

É possível introduzir até cinco fluxos do clima a partir de estações meteorológicas múltiplas. Esta característica permite aproximar alguma variação espacial no clima.

Caso sua simulação use estas estações, é necessário que haja pelo menos uma sobreposição de datas em cada arquivo.

O FARSITE™ também permite a entrada de um arquivo espacial (grid) do clima e do vento próximo da superfície (10 metros), produzido por um modelo. Estes arquivos substituem os arquivos texto do clima e do vento (será descrito adiante).

Os arquivos do clima (**.WTR**) podem ser gerados a partir de dados horários WIMS gerados pelo software *FireFamilyPlus*. A partir da barra do menu *FireFamilyPlus*, acione o comando **Weather > Hourly Data Analysis > FARSITE™ Exports**. Para isto, é preciso ter um banco de dados que contenha observações horárias no *FireFamilyPlus*.

❖ Arquivo do Vento (**.WND**)

Informações do vento devem ser fornecidas como um fluxo de dados contido em um arquivo de Vento (**.WND**) ou como um arquivo espacial do clima (**.ATM**). Assim como os arquivos do clima, o FARSITE™ permite introduzir até cinco arquivos de vento (**.WND**) para um determinado projeto. Isto pode ser importante para simular espacialmente ventos variados (por exemplo, ventos de cumeeiras e ventos de encosta) na paisagem.

Cada arquivo do Vento (**.WND**) tem que conter dados no formato de ASCII, o que permite modificá-lo através de um editor de texto tal como *Notepad*, *WordPad* ou uma planilha eletrônica. Mudanças do fluxo de vento podem ser feitas depois da simulação for iniciada.

O FARSITE™ também tem editores personalizados para o arquivo texto ASCII do Vento (**.WND**), encontrado na caixa de diálogo "FARSITE™ Project". O arquivo de Vento (**.WND**) também pode ser gerado usando o comando **Input > Generate from Types (WTR/WND)** uma vez que se tenha definido os tipos de vento.

Os ventos variam freqüentemente no espaço e no tempo. O FARSITE™ porém, assume ventos constantes no espaço, mas variável no tempo para um dado fluxo de vento. Isto significa que não há nenhum efeito topográfico nos ventos. O formato de entrada dos ventos é semelhante ao arquivo do Clima (**.WTR**). Os arquivos podem estar em qualquer resolução temporal (por exemplo, horário); observações de frações horárias devem especificar os minutos (p.ex.1430).

Todos os valores fornecidos são inteiros e devem estar em unidades inglesas ou métricas. A estrutura do arquivo é a seguinte:

Month	Day	Hour	Speed	Direction	CloundCover
-------	-----	------	-------	-----------	-------------

- **Mês:** com valores de 1 a 12.
- **Dia:** com valores até 31.
- **Hora:** é fornecida como 0-2400, para o minuto mais próximo (inteiros).
- **Velocidade:** é fornecida a velocidade a 20 pés de altura em milhas por hora ou em 10 metros de altura em quilômetros por hora (inteiros)
- **Direção:** é especificada em graus, à direita do norte (0-360), (inteiros). Um “-1” no campo de Direção indica que os ventos estão em aclave, da mesma forma que ventos em declives podem ser especificados com um “-2”.
- **Cobertura de Nuvens:** é especificada em porcentagem, 0 a 100 (inteiros).

Especificamente, os ventos de aclave e declive usam a declividade somente em pontos individuais no tema de declividade do arquivo Paisagem (.LCP), não sendo influenciados por relevos complexos, tais como ventos de cânion.

Os dados sobre vento podem estar em intervalos irregulares, contendo por exemplo, observações de vento a cada 10 minutos durante a tarde e a cada 2 horas à noite.

O arquivo do vento (.WND) tem a estrutura abaixo, com as unidades selecionadas inserindo a palavra ENGLISH ou METRIC na primeira linha do arquivo, como demonstra a Figura 10:

ENGLISH
8 10 0 1 54 0
8 10 100 2 67 0
8 10 200 2 102 0
8 10 300 1 166 0
8 10 400 3 319 0
8 10 500 4 251 0
8 10 600 3 245 0
8 10 700 2 15 0
8 10 800 4 116 0
8 10 900 6 91 0
8 10 1000 9 89 0
8 10 1100 9 96 0

Figura 10: Estrutura de um arquivo de vento (.WND).

Assim como os arquivos do clima (.WTR), os arquivos do vento (.WND) também podem ser gerados a partir de dados horários WIMS gerados pelo *FireFamilyPlus*, acionando o comando **Weather/ Hourly Data Analysis/ FARSITE™ Exports**. Para isto, é preciso ter um banco de dados no *FireFamilyPlus* que contenha observações horárias.

❖ Arquivo Fatores de Ajuste (**.ADJ**)

O arquivo Fatores de Ajuste (**.ADJ**) da taxa de propagação do fogo permite ao usuário usar sua experiência ou os dados locais para ajustar a simulação para os padrões atuais observados da propagação do fogo. Estes fatores têm o mesmo propósito que os ajustes das previsões do BEHAVE (ROTHERMEL & RINEHART, 1983). Os fatores são índices específicos para cada modelo de combustível que multiplicam a taxa de propagação, resultando uma taxa com ajuste local. Por exemplo, taxa de propagação para um determinado tipo de combustível seria reduzida pela metade com um fator de ajuste de 0,5 e para um quarto com um fator de 0,25. Semelhantemente, a taxa de propagação que usa um fator de ajuste de 2,0 seria dobrada. Mantendo os fatores de ajuste em 1,0, persiste a taxa de propagação original.

A tendência em simulações longas (temporal) ou grandes (espacial) é superestimar a previsão da propagação do fogo por causa da escala temporal e espacial grossa dos dados usados para os cálculos. A taxa de propagação também pode ser subestimada por causa de erros do tipo de combustível, umidades de combustível inexatas ou ventos locais representados impropriamente.

A estrutura do arquivo Fator de Ajuste (**.ADJ**) é bastante simples, como se pode ver abaixo.

<i>FuelMod</i>	<i>AdjustmentFactor</i>
----------------	-------------------------

- **Modelo de Combustível:** são os valores inteiros (de 1 a 50), definido no arquivo **Fuel_Model (.FMD)** e no tema espacial de combustível. Como dito anteriormente, os modelos numéricos de 1 a 13 são restritos aos 13 modelos combustível padrões do NFFL (ANDERSON, 1982), enquanto os modelos de 14 a 50 são para modelos personalizados.
- **Fator de Ajuste:** pode ser um número decimal, especificando o multiplicador de ajuste para a taxa de propagação. Deve ser maior que zero.

A Figura 11 demonstra a estrutura de um arquivo Fator de Ajuste (**.ADJ**):

1	0.5
2	0.75
3	1.0
...	
12	0.5
13	0.5
14	2.3

Figura 11: Estrutura de um arquivo Fator de Ajuste (**.ADJ**), com dados fictícios.

❖ Arquivo da Umidade Inicial dos Combustíveis (**.FMS**)

O arquivo da Umidade Inicial do Combustível (.FMS) é um arquivo texto ASCII requerido para todas simulações do FARSITE™. A umidade para cada tipo de combustível deve ser fixada no começo da simulação. Estas umidades de combustível são exigidas para começar o processo de cálculo específico da umidade do combustível local a cada passo de tempo ao longo da simulação.

O arquivo Umidade Inicial (**.FMS**) tem o seguinte formato:

<i>FuelMod</i>	<i>1Hour</i>	<i>10Hour</i>	<i>100Hour</i>	<i>LiveH</i>	<i>LiveW</i>
----------------	--------------	---------------	----------------	--------------	--------------

- **Modelo de Combustível:** corresponde a um modelo de combustível de 1 a 50, sendo especificado na paisagem se nenhuma conversão é usada ou no arquivo de Conversão de Combustível (.CNV) se há conversões dos 13 modelos de combustível padrão NFFL (ANDERSON, 1982) ou especificado no arquivo do Modelo de Combustível (.FMD) se os combustíveis são numerados de 14 a 50.
- **1Hora, 10 Horas, 100 Horas:** preenchido com valores em porcentagem da umidade para cada categoria do combustível e pode exceder a 100.
- **LiveH e LiveW:** indicam "combustíveis vivos herbáceos" e "combustíveis vivos lenhosos" respectivamente, tal como o programa *BehavePlus*. Diferente dos combustíveis mortos, a umidade do combustível vivo permanece constante ao longo da simulação a menos que se mude manualmente.

NOTA: Se modelos padrões forem usados, eles terão que ter as umidades de combustível iniciais também especificadas neste arquivo.

❖ Arquivo do Modelo de Combustível Personalizado (**.FMD**)

Este arquivo texto ASCII é opcional (descartado) para o FARSITE™ no caso de uso dos 13 modelos de combustível NFFL ou no uso do arquivo de Conversão de Combustível (.CNV). Mas é obrigatório no caso de uso de modelos de combustíveis personalizados (dos números 14 ao 50).

O uso de modelos de combustível personalizados é incentivado no FARSITE™. Modelos diferentes que os 13 modelos padrões de Comportamento de Fogo (ANDERSON, 1982) devem ser descritos em um arquivo de modelo de combustível (.FMD).

Para criar ou editar os arquivos (.FMD) pode-se utilizar o editor personalizado do arquivo Modelo de Combustível do FARSITE™ ou um editor de texto tal como *Notepad*, *WordPad* ou uma planilha eletrônica. O editor padrão do modelo de combustível também pode testar modelos de combustível individuais semelhante a um míni *BEHAVEPLUS*. Com este teste é possível visualizar com antecedência a taxa de propagação, o comprimento de chama e a altura crítica da base da copa.

O FARSITE™ 4.0 permite entrada de modelos de combustível em unidades inglesas ou métricas. Se nenhuma opção é fornecida, o FARSITE™ estabelece a unidade inglesa. O arquivo do Modelo de Combustível (.FMD) tem o formato abaixo (Tabela 8 e Figura 12) com as unidades selecionadas inserindo a palavra ENGLISH ou METRIC na primeira linha do arquivo.

FMod	1H	10H	100H	LiveH	LiveW	1HSAV	Live HSAV	Live WSAV	Profund	Xt Moist	DHt	LHt
------	----	-----	------	-------	-------	-------	-----------	-----------	---------	----------	-----	-----

Tabela 8: Descrição dos campos do arquivo Modelo de Combustível (.FMD).

Campo	Descrição	Tipo de Dados	Unidades inglesas	Unidades métricas
FMod	Modelo de combustível	inteiros	números 14-50	números 14-50
1H, 10H, 100H, LiveH, LiveW,	Carga do Combustível	decimal	ton/ acre	ton/ ha
1HSAV, LiveHSAV, LiveWSAV,	Relação Superfície-Volume	inteiros	1/ft	1/cm
Profundidade	Profundidade Camada de Combustível	decimal	ft	cm
XtMoist	Umidade de Extinção	inteiro	por cento	porcentagem
DHt, LHt,	Conteúdo de calor, combustíveis vivo & morto	inteiro	BTU/lb	J/kg

ENGLISH
19 2.250 1.500 3.710 0.000 1.000 2000 1800 1500 0.600 25 8000 8000

Figura 12: Estrutura de um arquivo Modelo de Combustível Personalizado (.FMD).

❖ Arquivo Conversão do Combustível (.CNV)

O arquivo texto ASCII de Conversão de Combustível (.CNV) é obrigatório para o FARSITE™ se os números do modelo de combustível no tema GIS “combustível” não

corresponderem diretamente aos números dos combustíveis no arquivo do modelo de combustível ou aos 13 modelos do NFFL. É recomendado que o tema de combustíveis seja reclassificado para fazer os atributos do combustível corresponderem diretamente aos modelos de combustível. Para situações nas quais não é possível reclassificar os atributos do combustível, o uso de um arquivo de conversão se faz necessário.

O arquivo de Conversão de Combustível (**.CNV**) pode ser modificado a partir de um editor de texto, tal como *Notepad*, *WordPad* ou pelo editor personalizado do FARSITE™. O formato para um arquivo de Conversão (**.CNV**) é:

<i>ConvertFrom</i>	<i>FuelMod</i>
--------------------	----------------

- **Converter de:** é o índice ou atributo de um tipo de combustível no tema de combustíveis convertido a um modelo de combustível de número 1 a 99 (inteiro).
- **Modelo de Combustível:** pode ser qualquer modelo de combustível de 1 até 50 (inteiro).

No exemplo abaixo, o combustível 68, 74 e 86 no tema de combustíveis correspondem aos modelos de combustível 2, 5 e 8, respectivamente. Sem reclassificar os números, o arquivo de conversão conteria as seguintes entradas:

68	2
74	5
86	8

O melhor uso para o arquivo de Conversão do Combustível (**.CNV**) é para modificar um atributo particular do modelo de combustível representado. Por exemplo, se um mapa de combustível contiver modelos de combustível 5 e 8 que deveria ser 6 e 9, respectivamente (ou modelos personalizados), então, carregaria um arquivo de conversão com os seguintes valores:

5	6
8	9

❖ Arquivo do Período de Queima (**.BPD**)

O arquivo texto ASCII Período de Queima (**.BPD**) é um arquivo de datas e horas que especifica os períodos diários de queima. É um arquivo opcional (mas muito recomendado) que é usado para parar a simulação durante períodos de baixa atividade, como noites frescas e úmidas. Ele pode ajudar a corrigir a tendência do FARSITE™ de superestimar a taxa de crescimento do fogo quando as condições ambientais essencialmente param o crescimento do fogo. Estes períodos podem acontecer à noite ou durante um tempo nebuloso. Embora o conteúdo de umidade do

combustível morto aumente durante estes períodos (na realidade e no FARSITE™), os modelos de comportamento do fogo não são sensíveis o bastante para estas condições moderadas, predizer uma propagação do fogo zero. Assim, o FARSITE™ superestima o crescimento do fogo durante estes períodos porque as baixas taxas de propagação do fogo são acumuladas em cima de longos períodos de tempo, resultando em diferenças significativas nas distâncias de propagação.

Esta característica também pode ser usada para acelerar as simulações, "desligando" (*turning off*) a simulação durante períodos de baixo comportamento de fogo com pequeno efeito nos resultados finais.

Assim como os demais arquivos, o Período de Queima (**.BPD**) pode ser modificado com um editor de texto ou com o editor personalizado do FARSITE™. O arquivo do Período de Queima (**.BPD**) tem o seguinte formato:

<i>Month</i>	<i>Day</i>	<i>StartHour</i>	<i>EndHour</i>
--------------	------------	------------------	----------------

- **Mês:** valores de 1 a 12.
- **Dia:** valores até 31.
- **Hora de Início:** valores de 0000 até 2400.
- **Hora de Término:** valores de 0000 até 2400.

O arquivo do Período de Queima (**.BPD**) define o período de atividade de queima, não o período de inatividade do incêndio.

❖ Arquivo Perfil do Lenho Espesso (**.CWD**)

Este arquivo texto ASCII opcional é necessário para utilizar o Modelo de Combustão de pós-frontal no FARSITE™ versão 4.0. Este arquivo contém os dados que descrevem cada um dos perfis de lenho grosso presentes no tema Lenho Espesso, encontrado no arquivo Paisagem (**.LCP**).

Assim como os demais arquivos, o Perfil do Lenho Espesso (**.CWD**) pode ser modificado com um editor de texto ou com o editor personalizado *Woody Profile Coarse* no FARSITE™.

A estrutura do arquivo do Perfil Lenhoso Grosso (**.CWD**) começa com a definição das unidades selecionadas, inserindo a palavra ENGLISH ou METRIC na primeira linha do arquivo. Em seguida, um cabeçalho de duas linhas, sendo que a primeira linha começa com a palavra "MODEL", seguido pelo número do modelo (inteiro) e uma descrição breve do modelo sem espaços. A segunda linha começa com a palavra "DEPTH", seguida da profundidade do perfil (decimal) em pés ou centímetros. O

arquivo pode conter linhas múltiplas por perfil, com cada linha representando uma classe de tamanho de combustível e cada perfil separado por um cabeçalho (Figura 13). O arquivo texto ASCII Perfil do Lenho Espesso (.CWD) tem o seguinte formato:

<i>SizeClass</i>	<i>Loading</i>	<i>HeatContent</i>	<i>S/R</i>	<i>Moist</i>
------------------	----------------	--------------------	------------	--------------

- **Classe de Tamanho:** o tamanho representativo da classe baseado na relação de superfície e volume. (p.e.: para a classe de tamanho de 3" a 6", o tamanho representativo é 4,75; para a classe de 6" a 10" o tamanho é 8,25). As unidades são polegadas ou centímetros decimais.
- **Carga:** carga do combustível da classe, onde as unidades são ton/acre ou quilogramas/hectare (decimal).
- **Conteúdo de Calor:** conteúdo de calor da classe, onde as unidades são BTU/lb ou joules/ quilograma (inteiros).
- **S/R** – *sound* (pesado) ou *rotten* (decomposto) é definido pela densidade do combustível (lb/ft³, ou kg/m³). Valores típicos são 32 lb/ft³ para combustível pesado e 19 lb/ft³ para decomposto.
- **Umidade:** conteúdo de umidade da classe de tamanho em porcentagem (inteiros).

```

ENGLISH
MODEL 8 CWD_for_fm_8
DEPTH 1.64
0.024 1.50 8000 32 4
0.440 1.00 8000 32 5
1.600 2.50 8000 32 7
4.750 1.30 7997 32 11
4.750 0.10 7997 19 11
8.250 0.50 7997 32 13
15.800 0.30 7997 32 13
15.800 0.10 7997 19 13
MODEL 9 CWD_for_fm_9
DEPTH 0.50
0.019 2.92 8000 32 2
0.440 0.41 8000 32 4
1.600 0.15 8000 32 5
4.750 0.60 7997 32 10
8.250 0.10 7997 32 11
8.250 0.01 7997 19 11

```

Figura 13: Estrutura de um arquivo Perfil Lenhoso Grosso (.CWD).

❖ Arquivo de Projeto (.FPJ)

Como foi comentado anteriormente, após a criação do arquivo de paisagem (.LCP) e a inserção dos arquivos do Clima (.WTR), Vento (.WND), Fatores de Ajuste (.ADJ), Umidade Inicial dos Combustíveis (.FMS) e de um arquivo do modelo de

combustível (.FMD ou .CNV), todos os arquivos para a construção do arquivo de projeto (.FPJ) estão presentes.

Depois de carregar os arquivos GIS e ASCII exigidos e opcionais, então é só gravar o arquivo de projeto com a extensão .FPJ na janela “FARSITE™ Project” (Figura 14). Desta forma, sempre que for rodar uma simulação, o arquivo de projeto (.FPJ) agiliza o processo de carregamento dos arquivos. Um arquivo de Projeto contém:

- A) Os nomes de todos os arquivos de dados de entrada exigidos e opcionais para FARSITE™ .
- B) Ajustes de exibição personalizados na ocasião em que o arquivo de projeto foi feito.
- C) O tema matricial de clima e de vento.
- D) A resolução das linhas do tema matricial (**Output > Landscape Display**).
- E) As coordenadas atuais (comando **View/ Change View Port**).
- F) Os nomes de até cinco arquivos vetores desenhado na paisagem.
- G) Mudança de cores de tema visíveis.

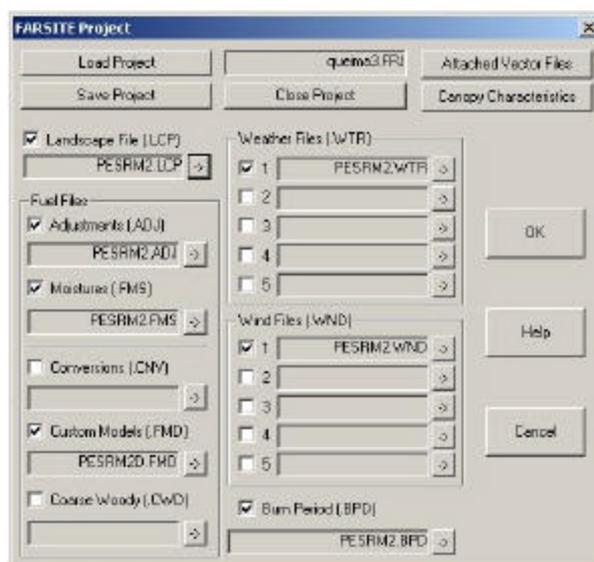


Figura 14: Estrutura de um arquivo de Projeto (.FPJ).

3.3.3. Parâmetros da Simulação

Os detalhes espacial e temporal dos cálculos de comportamento de fogo executado pelo FARSITE™ são determinados pelos Parâmetros do Modelo. Os Parâmetros são ajustes realizados na simulação de acordo com a conveniência do usuário e o propósito da simulação. Estes parâmetros devem ser fixados antes de rodar a simulação.

Os Parâmetros do Modelo (Figura 15) que devem ser ajustados são:

- **Passo de Tempo (Time Step):** segundo FINNEY (1998), o passo de tempo é a definição de um período de tempo na qual o perímetro do fogo será projetado. Em outras palavras, é o tempo necessário entre um perímetro do fogo e o perímetro seguinte.
- **Passo de Tempo Visível (Visible Time Step):** o passo de tempo visível é sempre um múltiplo do passo de tempo, e é a frente do fogo que será desenhada na tela do monitor. O passo de tempo visível é freqüentemente fixado mais longo que o passo de tempo para evitar sobreposição dos perímetros do fogo exibido no monitor. Há passos de tempo visíveis primários e secundários. O passo visível primário deve ser ajustado sempre, enquanto o secundário é opcional. O passo secundário é útil para distinguir o crescimento do fogo em dois períodos de tempo significantes (por exemplo, horas e dias). O passo visível secundário será exibido como uma cor diferente.
- **Resolução do Perímetro (Perimeter Resolution):** a resolução do perímetro define o espaçamento máximo entre os pontos da projeção ao longo do perímetro de fogo. A resolução é a distância máxima entre os pontos do perímetro de incêndio na direção tangencial. Para que os perímetros se expandam, novos pontos entre os vértices existentes são inseridos ao longo dos segmentos de linha.
- **Resolução da Distância (Distance Resolution):** a resolução da distância define a distância máxima que o fogo pode se distanciar em um passo de tempo sem tomar nova informação da paisagem (novos combustíveis, climas e dados da topografia) para calcular a taxa de propagação, tal como determina o Princípio de Huygens. É uma resolução da direção radial da propagação do incêndio para cada ponto.

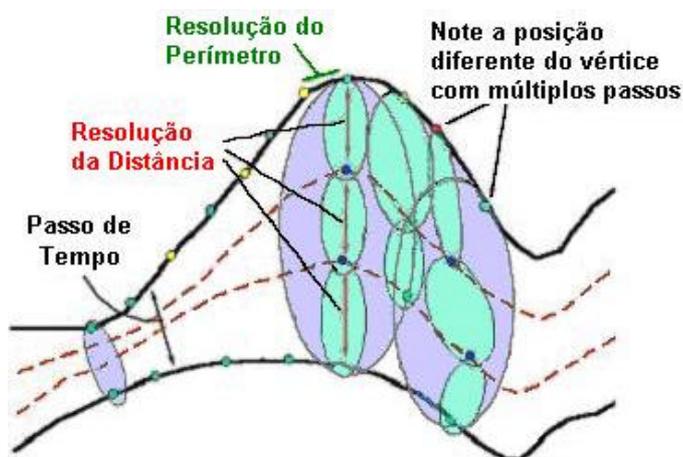


Figura 15: Parâmetros do modelo (Fonte: FINNEY, 1998).

3.3.3.1. Considerações no Ajuste do Passo de Tempo

O passo de tempo é realmente de importância secundária, comparado com a resolução espacial dos cálculos (resoluções do perímetro e da distância). O passo de tempo interno usado pela simulação está constantemente mudando de acordo com o tempo mínimo requerido para o incêndio se propagar à distância que iguala a resolução de distância. O passo de tempo atual só é usado como um período consistente durante o qual todos os incêndios serão projetados para um tempo coincidente antes que as fusões entre frentes do fogo sejam computadas (FINNEY, 1998).

Um passo de tempo mais curto fica mais apropriado com taxas de propagação do incêndio mais rápidas. A cabeça do incêndio deveria ser usada como o fator determinante. Dada a possibilidade de várias cabeças, FINNEY (1998) sugere a tabela seguinte (Tabela 9) como um referencial para o ajuste do passo de tempo.

Tabela 9: Referências para o Ajuste do Passo de Tempo.

Tipo de Incêndio	Combustíveis	Passo de Tempo
superfície	madeira	de 30 a 120 minutos
superfície	arbusto, grama seca	de 10 a 20 minutos
superfície, copa e de mancha	todos	de 5 a 10 minutos

Algumas considerações para ajustar os Passos de Tempo, segundo FINNEY (1998):

- **Resolução do fluxo de vento** – o intervalo mínimo entre as observações do vento será usado sem importar com o passo de tempo que você fixou.
- **Tempo & Dinâmica da Umidade do Combustível**– maior variação diurna na umidade de combustível indicaria que passos de tempo mais curtos ($\approx 1h$) deveriam ser usados para se ter certeza que os efeitos da mudança das umidades de combustível no comportamento do fogo sejam capturados pela simulação.
- **Fusões das Frentes do Incêndio**– quando múltiplos incêndios forem simulados, as fusões deles são calculadas ao término do passo de tempo. Assim, haverá menos cálculos perdidos (a simulação descarta) para a área dentro dos perímetros de fogo fundidos com passos de tempo mais curtos, mas também mais tempo gasto pelo computador procurando por possíveis fusões entre os incêndios múltiplos.
- **Resposta da Simulação para outras entradas e ajustes**– a simulação só permite entradas ou reajustes do usuário quando suspensa. Assim, para encurtar o tempo de espera, por exemplo, do comando **Simulate > Suspend**, é melhor selecionar passos de tempo mais curtos.

- **Passo de tempo visível controla a resolução “Andar-através” (Step-Through)**– ao usar o comando **Simulate > Step Through**, será necessário considerar quanto tempo a simulação permitirá progredir para cada passo.
- **O passo de tempo visível afeta os mapas produzidos**- o passo visível afeta a resolução e o tempo da produção do arquivo de vetor produzido pela simulação do FARSITE™.

3.3.3.2. Considerações no Ajuste da Resolução do Perímetro.

Este ajuste faz um grande impacto nas exigências dos cálculos da simulação, uma vez que a resolução do perímetro menor gera mais pontos de projeção do fogo. Deve-se estar atento para o fato de que os cálculos de comportamento de fogo não saltem detalhes espaciais nos ajustes da resolução de perímetro.

Para fixar a resolução do perímetro é preciso considerar dois pontos: primeiro, em relação à resolução da paisagem (definida pelos arquivos SIGs de entrada), a resolução de perímetro determina a quantidade de informação da paisagem usada na simulação. Segundo, a resolução do perímetro define a escala da possível curvatura e o detalhamento da frente de incêndio. Ambos devem ser pensados no contexto do propósito de simulação.

Uma resolução do perímetro grosseira diminuirá o uso da quantidade de informação espacial e agilizará o cálculo da propagação de incêndio. Porém, com menos informações usadas, o incêndio não reconhece possíveis variações nos combustíveis ou na topografia, tal como uma escala mais fina. Isto pode ser aceitável onde a resolução do perímetro se iguala a uma escala de interesse maior que a paisagem matricial; por exemplo, se FARSITE™ é usado para simular incêndios de 30.000 ha usando uma resolução de 30 m de célula.

A resolução do perímetro controla o detalhamento da frente do incêndio, na curvatura e na possibilidade do perímetro responder a heterogeneidades que acontecem em uma escala apropriada. Uma resolução fina é necessária para fazer uma propagação do fogo sensível a pequenas variações espaciais, assim como mudanças temporais na direção do vento. Também não há nenhum ganho significativo na precisão ao se fixar a resolução de perímetro muito mais baixa que metade da resolução do tema matricial original.

Algumas considerações para ajustar a Resolução do Perímetro (que também servem para a Resolução da Distância), segundo FINNEY (1998):

- **Resolução dos dados** – a melhor resolução de perímetro/ distância só pode ser um pouco menor que a resolução de dados matriciais, caso contrário será promovida uma “falsa” precisão em paisagens heterogêneas. Escolhendo uma resolução de perímetro/ distância muito mais grossa que a matricial, a simulação poderá saltar alguns dados espaciais.

- **Tamanho do fogo**– uma resolução fina é mais apropriada para incêndios menores. Ao contrário, incêndios maiores permitem resoluções mais grossas.

- **Paciência**– resultados mais rápidos requerem resoluções maiores.

- **Heterogeneidade do ambiente de fogo**– maiores resoluções espaço/ tempo podem ser apropriadas para uniformizar as condições, mas as resoluções finas são exigidas para locais mais heterogêneos.

3.3.3.3. Considerações no Ajuste da Resolução da Distância.

A resolução de distância é dependente na resolução de perímetro porque não pode ser maior que a resolução do perímetro, devido aos métodos usados para descobrir e eliminar sobreposição (*crossovers*). Porém, a resolução de distância pode ser fixada menor que a resolução de perímetro. Isto daria uma maior resolução radial que tangencial. O valor mais lógico para resolução de distância seria aproximadamente igual ao perímetro.

3.3.3.4. Considerações Finais do Ajuste dos Parâmetros

Embora sejam consideradas todas as características da simulação sobre as influências de seleções particulares dos parâmetros do modelo, há uma estratégia que pode ajudar a decidir os ajustes apropriados.

Primeiro, é conveniente fixar a resolução da distância e do perímetro bastante grosseira (no contexto das considerações anteriores para heterogeneidade de combustível, tamanho de fogo, etc.). Ajustar um passo de tempo em torno de 1 hora permitirá ter passos de tempo visíveis detalhados e ver como o fogo se comporta. A idéia é agilizar a simulação para visualizar uma resposta (crescimento e comportamento de fogo) rápida. O objetivo neste primeiro momento é ajustar os modelos e os dados, não sendo importante a precisão dos resultados. As simulações iniciais são usadas para indicar as necessidades de mudanças.

À medida que se adquire habilidade e experiência com a simulação, deve-se aumentar a resolução dos cálculos de comportamento de fogo (por exemplo, diminuir as resoluções do perímetro e da distância). Gradualmente, por meio de simulações

repetidas, os parâmetros serão "afinados" ficando apropriado para os objetivos da simulação.

3.3.4. Mapas, Tabelas e Gráficos Produzidos pelo FARSITE™

Uma das principais vantagens do FARSITE™ é a quantidade de mapas, tabelas e gráficos produzidos após a simulação (Tabela 10), que possibilita um entendimento mais claro sobre a evolução temporal e o comportamento espacial do incêndio através da paisagem .

Tabela 10: Variáveis de saídas geradas pelo FARSITE™.

Saídas do FARSITE™	Mapas	Tabelas	Gráficos	Unidades métricas	Unidades Inglesas
Tempo de Chegada	✓			horas	horas
Intensidade da Frente do Fogo	✓			kW/m	BTU/ft/sec
Comprimento de Chama	✓			m	ft
Taxa de Propagação	✓			m/mim	ft/min
Energia por área	✓			kJ/m ²	BTU/ft ²
Intensidade de reação	✓			kW/m ²	BTU/ft ² /sec
Perímetro	✓	✓	✓	km	km
Direção de propagação	✓			azimute	azimute
Atividade incêndio de copa	✓			1=superfície 2= passivo 3=ativo	1=superfície 2= passivo 3=ativo
Características do incêndio			✓		
Área do incêndio		✓	✓	ha	ha

Os gráficos e tabelas são importantes recursos para a avaliação dos ajustes e do andamento da simulação, devendo ser abertos antes ou durante a simulação. Em relação aos mapas (principalmente dos parâmetros do fogo) vale ressaltar que os mapas são definidos antes da simulação começar. Então, é fundamental que todos os ajustes tenham sido feitos, de forma que a simulação tenha realmente atingidos seus objetivos.

Todos produtos podem ser visualizados no próprio FARSITE™ ou exportado para planilhas (no caso de tabelas), para um SIG (no caso de mapas) ou no formato de imagem (a interface gráfica da paisagem, tabelas, gráficos e mapas).

3.3.5. Calibração e Controle do Andamento

O processo de diagnosticar problemas e fazer melhorias na simulação, normalmente comparadas a observações de comportamento de fogo atual, é chamado calibração. Calibração é necessária por muitas razões, das quais pode-se citar:

- dados de entrada têm erros ou inexatidões que não são conhecidas até o tempo que se roda a simulação;
- variabilidade de condições ambientais não é capturada pela resolução grosseira dos dados de entrada;
- inadequação dos modelos de combustível e comportamento de fogo para refletir comportamento realístico do fogo.

Considerando que a progressão do incêndio é função do material combustível, da topografia e do clima, tem que se calibrar a simulação procurando os principais fatores que alteram o comportamento do fogo simulado. O modo mais apropriado para procurar fontes de erro é checar primeiro os dados de entrada, então os ajustes do usuário e finalmente as limitações e suposições do modelo. Estes elementos de diagnósticos podem ser usados para formar uma sigla que é fácil se lembrar: DUM (Dados-Usuário-Modelo).

O fluxograma de calibração do FARSITE™ pode ser observado no Anexo 02.

3.3.6. Usos indicados e Estudos de Casos do FARSITE™

O programa FARSITE™ foi desenvolvido inicialmente para o apoio na administração de incêndios naturais prescritos (*Prescribed Natural Fires*) (FINNEY, 1998). O FARSITE™ pode ser usado de três maneiras: para simular incêndios que ocorreram no passado, incêndios que estão acontecendo e os que podem vir a acontecer (FINNEY & ANDREWS, 1999).

As análises de incêndios passados revelam bem como a simulação reproduz os padrões do crescimento do incêndio. Além disso, a simulação de incêndios passados é crucial no treinamento do uso do FARSITE, desenvolvendo a confiança necessária para projetar o crescimento de incêndios que acontecem em tempo real.

A simulação de incêndios em tempo real facilita o entendimento do comportamento do fogo, as análises da situação do incêndio, a tomada de decisões e o planejamento das ações de combate.

A simulação de incêndios futuros pode ajudar a definir entre as diferentes alternativas de administração florestal, estabelecendo as zonas de manejo do fogo (e de tratamentos do combustível) e os períodos mais indicados para uma queima conduzida. Além disso, a simulação de possíveis incêndios pode simular a extensão e os prováveis danos da queima.

O FARSITE é extensamente usado pelas agências estaduais e federais, como também entidades privadas nos Estados Unidos, geralmente para simular as queimas naturais prescritas e incêndios florestais que ocorrem em parques nacionais ou áreas selvagens (FINNEY, 1994; FINNEY & ANDREWS, 1999). O FARSITE™ é atualmente usado por muitos gerentes de incêndios florestais nos Estados Unidos e outros países (FINNEY, 1998; GRUPE, 1998; KEANE *et al.*, 1998a).

Considerando que nos Estados Unidos o FARSITE™ foi considerado por muitas agências de administração florestal como o melhor modelo para prever o crescimento do incêndio, muitos gerentes de incêndio estão aprendendo a usar esta ferramenta e tentando obter as camadas de dados de entrada para suas áreas (CAMPBELL *et al.*, 1995; GRUPE, 1998). Um curso nacional de treinamento interagências foi desenvolvido para aplicação e operação do FARSITE no campo. O curso S-493 providencia uma compreensão completa do funcionamento técnico do FARSITE, incluindo suas limitações, de forma que o usuário possa fazer o julgamento das exigências que são feitas para a simulação de um incêndio ativo (FINNEY & ANDREWS, 1999).

3.3.6.1. Parques Nacionais Yosemite e Glacier

FINNEY & ANDREWS (1994) descrevem testes de campo do FARSITE em ocorrências de incêndios naturais prescritos nos parques nacionais de Yosemite e de Glacier durante o verão de 1994. Os autores relatam que o propósito principal dos testes era avaliar o uso desta tecnologia sob o ponto de vista dos usuários em relação à interface gráfica, procedimentos de entrada e opções de saídas. Um objetivo incidental era observar as habilidades gerais da simulação prever o comportamento real.

Estas experiências com FARSITE demonstraram a dificuldade para se criar e organizar os dados espaciais e temporais exigidos pelo modelo de crescimento do incêndio. Os dados requeridos para rodar a simulação no FARSITE são consideravelmente mais detalhados que os exigidos para outras ferramentas de previsão do incêndio, tais como BEHAVE (ANDREWS, 1986) e RERAP (WIITALA & CARLSON, 1994). FINNEY & ANDREWS (1994) relatam que o *feedback* dos gerentes de incêndio foi positivo em relação à aplicação do FARSITE™.

3.3.6.2. Floresta Nacional de Gila

Os gerentes da Floresta Nacional de Gila e do Escritório Regional do Serviço Florestal Americano no sudoeste dos Estados Unidos tiveram alguns desafios na

utilização do FARSITE™ para a administração de incêndios. Com um histórico de muitas ocorrências de incêndios, especialmente nas florestas secas montana e nos ecossistemas de campos (GONZALES & MAUS, 1992; ABOLT, 1997; BOUCHER & MOODY, 1998) citados por KEANE *et al.* (2000), os gerentes tiveram que produzir os mapas de combustíveis necessários para rodar o FARSITE™ sem mapas básicos da vegetação.

Assim, KEANE *et al.* (2000) relatam que o objetivo deste projeto foi inventariar os combustíveis com o intuito de desenvolver as camadas de dados espaciais da cobertura e do combustível requeridas pelo FARSITE para a simulação do comportamento de incêndio nas terras dentro e ao redor da floresta nacional de Gila. Imagem de satélite, modelos de terreno e simulação biofísica foram usadas para criar as camadas de dados espaciais de três vegetações do complexo da floresta nacional.

Esse projeto, tal como o desenvolvido no *Selway-Bitterroot Wilderness Complex* onde foram mapeados os combustíveis para 1 milhão de ha (KEANE *et al.*, 1998), demonstrou que a criação das camadas do FARSITE™ é um processo caro e demorado, valendo acima de US\$ 0.10 por hectare e levando um ou dois anos. Assim o modelo do FARSITE™, que é disponibilizado gratuitamente na Internet, requer camadas de combustível que são bastante caras e difíceis de construir (KEANE *et al.*, 1998).

3.3.6.3. Refúgio Nacional de Vida Selvagem Ilha Merritt (MINWR), Flórida

A vegetação dominante de Flórida é dependente e adaptada à frequência do fogo (ABRAHAMSON, 1984; MYERS, 1990). Influências humanas tais como a supressão do fogo, a fragmentação florestal e a proliferação de vegetação exótica alteraram os combustíveis, rompendo o regime natural do fogo (MYERS & WHITE, 1987; DUNCAN *et al.*, 1999). Para entender os efeitos das mudanças antrópicas da vegetação no comportamento espacial do fogo, o FARSITE versão 3.0 (SEM, 2001) foi usado para simular a propagação de incêndios para os 57.000 ha do Centro Espacial Kennedy (KSC)/ Refúgio Nacional de Vida Selvagem Ilha Merritt (MINWR), Flórida para os anos de 1920, 1943 e 1990.

Também foram usados os softwares ARC/INFO GRID (ESRI, 2000), para criar os temas espaciais (DUNCAN & SCHMALZER, 2001) e o BEHAVE para converter os modelos de combustíveis. Como o interesse era perceber como as características antrópicas alteraram o regime e o comportamento do fogo, a paisagem foi modelada com resolução de 10 metros para incluir características lineares criadas por homem. O

ponto de ignição foi simulado como uma queda de raio aleatória e mantida a mesma coordenada para todos os anos.

As simulações mostraram que em 1920, os incêndios queimariam os combustíveis até a sua exaustão ou as condições meteorológicas ficarem desfavoráveis. Em 1943, os incêndios começaram a ser limitados através de feições antrópicas na paisagem e foram restringidos cada vez mais por estas feições em 1990. Porém, a fragmentação não é o único obstáculo antrópico para o fogo. Políticas de supressão de fogo no passado alteraram a cobertura da terra e conseqüentemente os combustíveis, de vários modos. A ausência de incêndios naturais neste ecossistema mantido pelo fogo permitiu arbustos crescer a alturas não naturais é um exemplo disto.

3.3.6.4. Floresta Nacional de San Bernardino, Califórnia

Este estudo foi focado no incêndio de Bee (Figura 16) que ocorreu no Distrito Florestal de San Jacinto da Floresta Nacional de San Bernardino, Califórnia, Estados Unidos, de 29 de Junho a 03 de julho de 1996. O incêndio que queimou 3.848 ha, começou na tarde de 29 de Junho, na base da montanha de San Jacinto, aproximadamente 1,6 km norte-noroeste da Estação Florestal Cranston. O ponto de ignição começou no Bee cânion, a partir do qual o fogo levou seu nome (FUJIOKA, 2002).

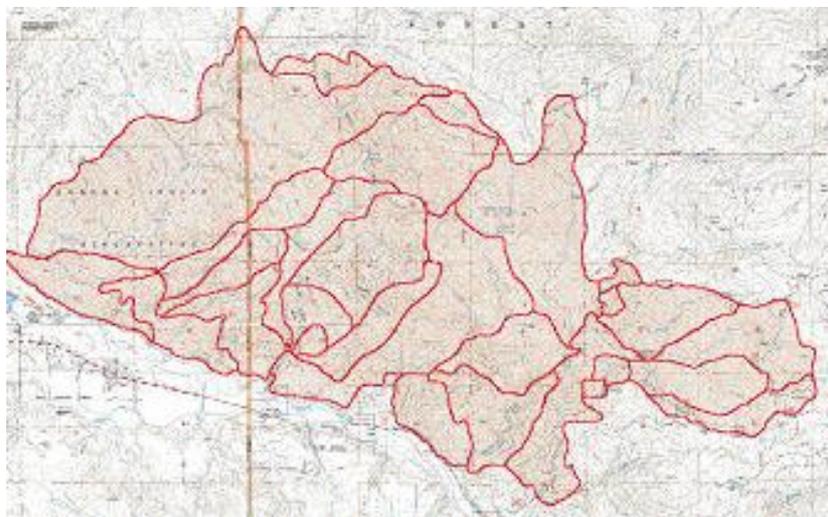


Figura 16: O mapa do incêndio de Bee ocorrido na Floresta Nacional de San Bernardino, Califórnia, de 29 de Junho a 03 de Julho de 1996. Os polígonos apresentam as várias partes do incêndio, assim como ele evoluiu no tempo.

Uma equipe de manejo do fogo gerou os dados do terreno e dos combustíveis cobrindo o local da queima. A equipe obteve ainda os dados do clima para o período da queima a partir de uma estação remota automática do clima (RAWS) próxima a Pine

Cove. Como a base de dados do clima era inadequada, um estudo do *Forest Service* foi iniciado bem depois do incêndio, gerando dados do clima em um grid de 2 km de extensão, denominado *Mesoscale Spectral Model* (MSM) (CHEN *et al.*, 1998). As simulações de mesoescala MSM (Figura 17) indicaram que a brisa que partia do oeste estava formando a cabeça do fogo na área sobre o tempo de ignição. O modelo de mesoescala também aumentou a velocidade do vento, assim que ele se tornou de leste para oeste. Entretanto, os ventos observados próximos do incêndio não confirmaram uma aceleração do fluxo do vento.

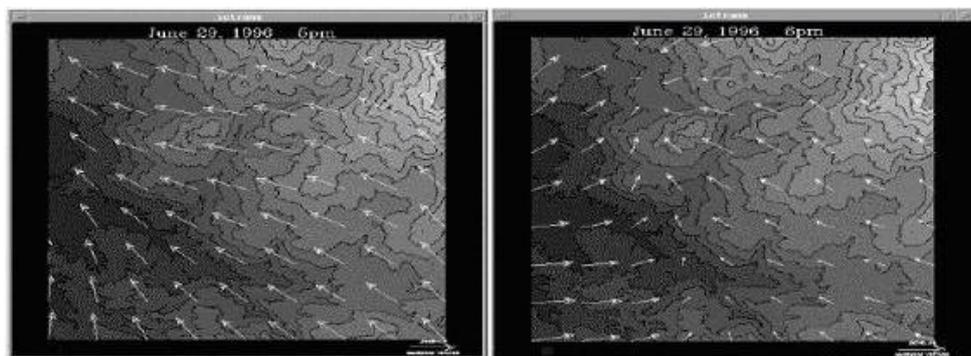


Figura 17: Modelo de Mesoescala dos ventos do incêndio de Bee em 29 de Junho de 1996. Os vetores apresentam o fluxo do vento a 10 m acima da superfície.

As medidas do erro foram definidas a partir das respectivas distâncias de propagação dos incêndios atuais e simulados em pontos específicos ao redor dos perímetros (Figura 18). FUJIOKA (2002) apresenta uma série de equações diferenciais para calcular as medidas do erro. Um erro de proporção providencia um fator de correção para o erro de tendência (*bias*) do modelo de propagação. As características do erro são definidas por um modelo de probabilidade, que é usado para construir o erro (*bound*) em predições da propagação do fogo.

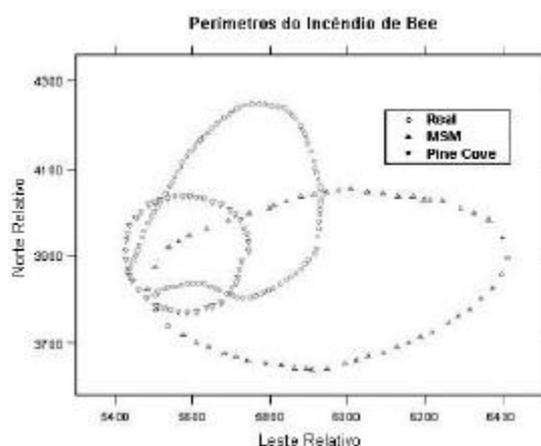


Figura 18: Perímetros real e simulado do incêndio de Bee, Califórnia. O perímetro “MSM” foi simulado com a entrada do vento a partir do MSM e o perímetro “Pine Cove” é da simulação com a estação meteorológica de Pine Cove.

Assim como na Figura 18, FUJIOKA (2002) também apresenta os perímetros observados (real), simulado e corrigido para os perímetros de 15 e 45 min depois de ignição.

Este trabalho demonstrou um método para a análise bidimensional dos erros de modelagem da propagação do fogo. O método comparou as respectivas distâncias de propagação dos incêndios atual e simulado em torno dos seus perímetros. O erro foi expresso como a diferença e a razão nas distâncias de propagação, a partir de um período de tempo para o próximo. A medida da razão também providenciou um fator de correção para a predição do próximo passo. Uma análise da distribuição do erro foi usada para construir uma região de confiança para o perímetro verdadeiro.

O método providencia uma nova perspectiva nas análises do erro do modelo de propagação. O resultado indica a dificuldade de modelar a propagação do fogo, até mesmo com dados relativos do vento do modelo de mesoescala de alta resolução. O caso do incêndio de Bee expôs algumas fraquezas nas análises do erro. Primeiro, a correção da razão não melhora a predição da propagação. Pelo contrário, ela aumenta o erro, quando o incêndio atual muda seu comportamento de um passo para o outro. A correção da razão trabalha quando o padrão do erro foi consistente entre observações sucessivas.

3.3.7. Limitações, Suposições e Melhorias do Sistema FARSITE™.

Os modelos que simulam o comportamento real do fogo, representam-no através dos principais fatores que influenciam o incêndio. Simplificando de alguma forma ou grau as complexas relações que regem a propagação do fogo, os modelos representam uma forma idealizada e particular do incêndio real. Portanto, pode-se afirmar que todos os modelos apresentam limitações quanto à sua perspectiva de uso.

Como em versões anteriores, o FARSITE pode usar os fluxos simplificados do clima e do vento. Aqui, os ventos abertos são assumidos como paralelo ao terreno e espacialmente constantes mas podem variar em velocidade e direção com o passar do tempo. A variabilidade espacial nos ventos só é realizada com o uso de vários fluxos do vento.

As observações da temperatura e da umidade são interpoladas através de uma curva senoidal (ROTHERMEL *et al.*, 1986) para adquirir temperaturas e umidades ao longo do dia (Figura 19). Uma interpolação seno-exponencial (BECK & TREVITT, 1989) pode ser um avanço, mas isto ainda terá que ser testado. Uma taxa de erro de 3,5° F por 1.000 ft é usada para ajustar as observações para outras elevações na paisagem

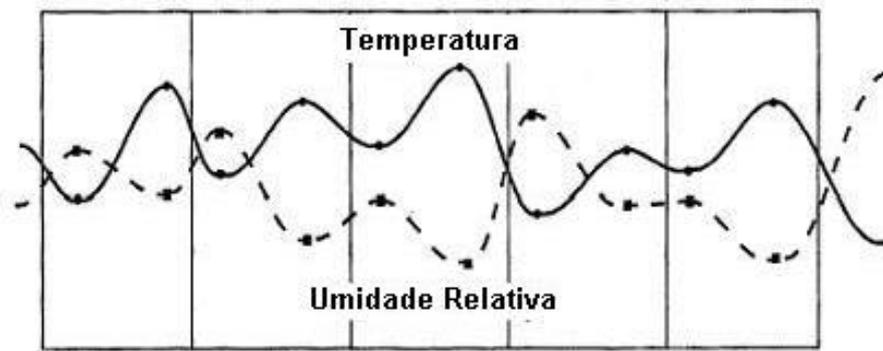


Figura 19: Interpolação usada para generalizar os pontos entre a temperatura e a umidade máxima e mínima para tempos específicos no fluxo do clima. Fonte: FINNEY (1998).

A radiação solar na superfície do solo é calculada usando a informação do terreno e da cobertura da copa, sendo que as características da copa (altura, altura da base, densidade de massa e conteúdo de umidade foliar) são consideradas espacialmente constantes (exceto quando estes temas são providenciados).

A umidade do combustível morto é calculada usando os procedimentos implementados dentro BEHAVE (ROTHERMEL *et al.*, 1986). Os cálculos diários para umidades dos combustíveis finos (realizado às 1400 horas) são diferentes dos cálculos para umidades de combustível em outras horas do dia. Isto resulta em uma troca abrupta nas umidades de combustível às 1400 horas. Não é conhecido como esta inconsistência afeta os resultados da propagação do comportamento do incêndio em simulações longas. A umidade do combustível vivo é admitida como constante ao longo da simulação a menos que fosse mudado manualmente. Atualmente, não há nenhum modelo geral para todas as espécies de combustíveis vivos que descrevem variação de umidade diária ou sazonal.

FINNEY (1999) afirma que melhorias para o FARSITE são esperadas nos próximos anos. Modelos melhores para o comportamento do incêndio serão provavelmente substituídos quando eles estiverem disponíveis. Especificamente, o modelo de umidade de combustível atual será substituído. Também, o FARSITE será modificado para simular combustão pós-frontal. Isto permitirá calcular a quantidade de fumaça e o calor a partir de um incêndio atrás da linha do fogo. Os resultados serão úteis como contribuição em modelos atmosféricos separados usados para calcular a dispersão de fumaça.

4. MATERIAL E MÉTODOS:

4.1. Descrição da Área de Estudo

A área deste estudo foi o entorno do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, uma região com 5 quilômetros de largura que circundeia o Parque. As coordenadas do retângulo envolvente são 593.203, 613.003, 7.773.985 e 7.788.205 m em Projeção UTM (23 K).

Conta-se que a Serra do Rola-Moça teve seu nome devido a um poema de Mário de Andrade que relata a história de um casal que logo após a cerimônia de casamento, atravessando a Serra de volta para casa, caiu no fundo do grotão.

O Parque Estadual Serra do Rola-Moça, criado pelo Decreto nº 36.071, em 27 de setembro de 1994, possui 3.941,09 ha e situa-se na região metropolitana de Belo Horizonte, nos municípios de Belo Horizonte, Brumadinho, Ibitité e Nova Lima.

Com um relevo bastante acidentado, com montanhas de 1.500 m de altitude, o Parque abriga seis importantes mananciais de água - Taboões, Rola-Moça, Bálamo, Barreiro, Mutuca e Catarina, que garantem a qualidade dos recursos hídricos que abastecem parte da população da região metropolitana.

Sendo habitat de espécies raras da fauna, tais como a onça parda (*Felis concolor*), gato mourisco (*Felis wiedii*), lobo-guará (*Chysocyon brachyurus*), irara (*Eira barbara*), lontra (*Lutra longicaudis*), ouriço (*Chaetomis subspinosus*), tatu-peba (*Euphractus sexcinctus*), tatu-galinha (*Dasytus novemcinctus*) e o veado campeiro (*Ozotocerus bezoarticus*), o Parque resiste ao avanço urbano da região (IEF, 2003).

O Parque possui um grande histórico de incêndios, provocados na sua grande maioria pela comunidade de baixa renda situada na porção norte da Serra, além dos freqüentes incêndios originados ao longo da estrada que corta o Parque.

4.2. Levantamento e Aquisição dos dados:

4.2.1. Uso do solo e cobertura vegetal:

Os dados referentes ao uso do solo do Parque do Rola-Moça foram obtidos com a Coordenadoria de Monitoramento do Instituto Estadual de Florestas (IEF). Através de um “Termo de Compromisso”, no qual o Instituto cede as informações para utilização específica para fins acadêmicos, o IEF forneceu os arquivos digitais do uso do solo e cobertura vegetal das folhas MI 2572 E MI 2573 do IBGE, na escala de 1:100.000. Os arquivos digitais foram fornecidos no formato shapefile (.shp) do Arcview.

Os arquivos de uso do solo e cobertura vegetal são mapas temáticos em projeção UTM elaborados pelo IEF em 1994 a partir da interpretação, classificação e aferição no

campo de imagens do satélite LANDSAT-TM, nas bandas 3, 4 e 5. O IEF possui cartas atualizadas de 1998, mas que não foram disponibilizadas para este trabalho.

As 26 classes de uso do solo e/ou cobertura vegetal estabelecida pelo IEF (Tabela 11) foram adotadas neste trabalho.

Tabela 11: Classes de Uso do Solo e Cobertura Vegetal adotadas pelo IEF.

Código da Classe	Descrição	Código da Classe	Descrição
CCE	Campo cerrado	VER	Veredas
CCG	Campo cerrado c/ mata galeria	CAA	Caatinga
CAP	Capoeira	AGR	Agricultura
CED	Cerradão	CLR	Campo natural altitude rupestre
CER	Cerrado	PTC	Pastagem/ campo
CMG	Cerrado c/ mata galeria	CNG	Campo natural c/ mata galeria
MTA	Mata	QMD	Queimada
MCI	Mata ciliar	NUV	Nuvens
MSE	Mata seca	SOE	Solo exposto
REF	Reflorestamento	ADE	Área degradada
BAC	Background	AFR	Afloramento rochoso
VAR	Vegetação de várzea	MTN	Mata de encosta
CRE	Cerrado em regeneração	URB	Malha urbana

4.2.2. Curvas de Nível

Os dados referentes a altimetria do Parque do Rola-Moça também foram obtidos com a Coordenadoria de Monitoramento do Instituto Estadual de Florestas (IEF), através de arquivos digitais no formato L3D do programa SPRING, na escala de 1:50.000.

4.2.3. Clima:

Os dados climáticos foram obtidos através do site da Plataforma de Coleta de Dados (<http://www4.cptec.inpe.br/pcd.htm>), do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e armazenados em um banco de dados relacionais do tipo Access.

4.2.4. Limites de Unidades de Conservação:

O tema "limites.shp" com a localização do Parque Estadual Serra do Rola-Moça foi obtido com o Instituto Estadual de Florestas.

4.2.5. Focos de Calor

As coordenadas dos focos de calor foram conseguidas através do site da Divisão de Processamento de Dados (DPI) (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

4.3. Reprocessamento dos dados:

Como os dados foram obtidos através de várias fontes, nem sempre apresentavam o formato requerido pelo FARSITE™. Os dados tabulares (clima e focos de calor) foram agrupados em planilhas do Excel e vinculados a um banco de dados do Microsoft Access. Assim, a consulta ou seleção de dados se tornou mais rápida e prática.

Todas as mudanças nos dados espaciais obtidos foram realizadas no software **ArcView**® versão 3.2a, desenvolvido pela empresa *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Para isto, foi criado o projeto “Tese.apr”, com as vistas “Rola Moça Elevação” e “Rola Moça Cobertura”, todas definidas com as unidades de distância e do mapa em metros.

Antes de realizar o reprocessamento, foi preciso carregar as seguintes extensões:

- **3D Analyst** : esta extensão permite que o ArcView modele superfícies TIN.
- **Geoprocessing Wizard**: realiza análises espaciais com os comandos UNION, CLIP, MERGE, DISSOLVE E INTERSEC.
- **Graticules and Measured Grids** : contém a ferramenta para gerar malhas nos mapas.
- **Spatial Analyst** : esta extensão permite a modelagem e análise espacial.

4.3.1. Geração dos Temas Matriciais Cobertura e Combustível:

No caso do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, uma nova vista (“Rola-Moça Cobertura”) foi criada dentro do projeto “Tese.apr”, com os temas “MI_2572” e “MI_2573” (obtidos no IEF) adicionados. Estes temas georreferenciados (Projeção em UTM e Datum SAD69) se referem à cobertura vegetal e ao uso do solo das cartas do IBGE de Brumadinho e Rio Acima.

Criada a vista “Rola Moça Cobertura”, a primeira operação de reprocessamento foi fundir os temas “MI_2572.shp” e “MI_2573.shp”, formando o tema “Brum_RioAcima.shp”. O processo de fusão serve para criar um novo tema contendo dois ou mais temas adjacentes com o mesmo formato (linha com linha, polígono com polígono ou ponto com ponto).

Na formação do tema "Brum_RioAcima.shp" era possível perceber um espaço vazio entre as bordas dos temas "MI_2572" e "MI_2573" (Figura 20), também presente no tema "Brum_RioAcima.shp".

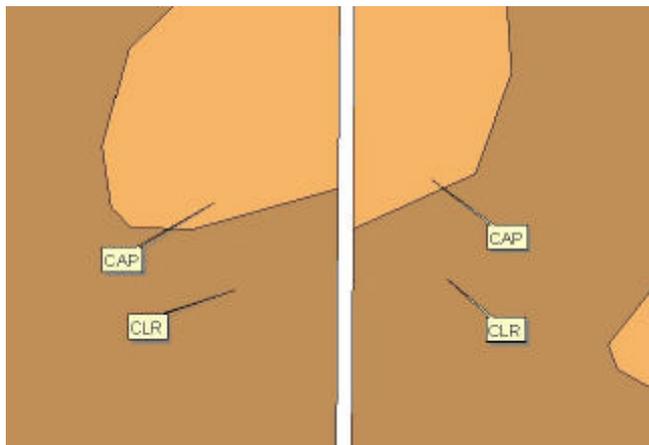


Figura 20: Espaço vazio entre os temas MI 2572 e MI 2573, na escala 1:10.000.

Como conseqüência disto, a simulação do FARSITE™ pararia nesta região por falta de dados. Neste caso, foi necessário editar os vértices dos polígonos do tema "Brum_RioAcima.shp" na tela do monitor, de maneira que se preenchessem os espaços vazios entre os polígonos. Porém, como conseqüência deste tipo de edição, há um aumento na área de cada polígono editado. A Figura 21 apresenta o resultado final deste processo.

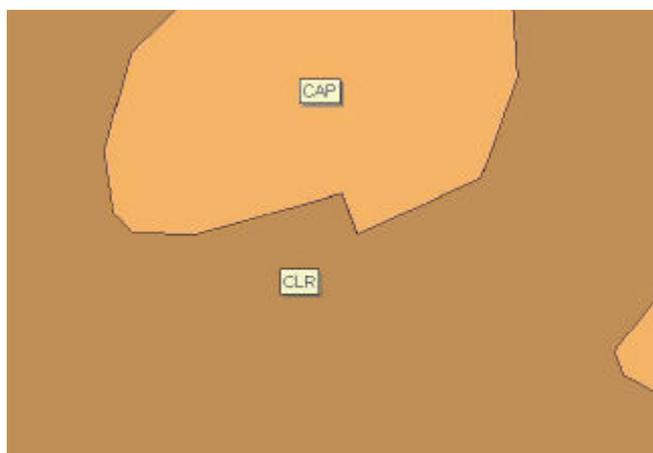


Figura 21: Correção dos espaços vazios entre os temas MI 2572 e MI 2573, na escala 1:10.000.

O tema "Brum_RioAcima.shp" que compreende os municípios inteiros de Brumadinho e Rio Acima, é uma área muito maior que a área de interesse do projeto. Desta forma, foi inserido o tema dos limites ("limites.shp") do Parque e criado uma margem externa de 5 Km. Esta margem teve como objetivo estabelecer uma área externa com influência no Parque.

A área de interesse foi então delimitada cortando o tema “Brum_RioAcima.shp”, gerando o tema “area_inter.shp”. Após o corte, das 17 classes de uso do solo presentes no tema “Brum_RioAcima.shp” atribuídas pelo IEF (veja Tabela 11, página 61), restaram apenas 9 classes no tema “area_inter.shp” (Tabela 12). Destas 9 classes, os polígonos da classe “BAC” (background) foram reconhecidos como áreas urbanas (Condomínio Retiro das Pedras, Loteamento Jardim Canadá e uma parte de Belo Horizonte).

Tabela 12: Tabela de atributos do tema " area_inter.shp" com as 9 classes de uso do solo.

Shape	Sprclasse	Count
Polygon	ADE	2
Polygon	AGR	1
Polygon	BAC	8
Polygon	CAP	43
Polygon	CER	3
Polygon	CLR	24
Polygon	MCI	5
Polygon	PTC	10
Polygon	VAR	2

Em seguida, os polígonos de mesma classe foram dissolvidos usando o campo “Sprclasse” da tabela de atributo como referência. A operação de dissolução serve para que se elimine a margem entre polígonos adjacentes semelhantes. Destas operações surgiu o tema “uso_solo.shp”, apresentado na Figura 22.

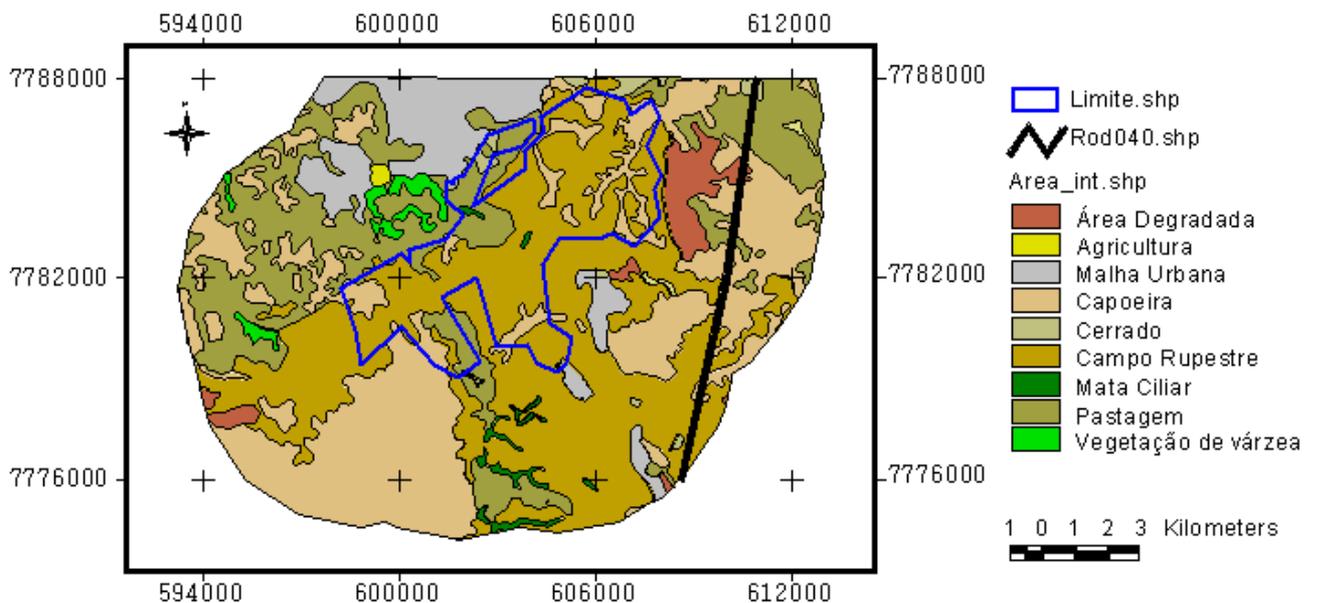


Figura 22: Mapa Temático do Uso do Solo para a região de interesse do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.

Para a derivação dos mapas temáticos da cobertura e do combustível faltava adicionar os campos “%_cobert” e o campo “combust” na tabela de atributos do tema “uso_solo.shp”. Para estes campos, foram adicionados valores percentuais de 0 a 100 para a cobertura e valores de 14 a 20 para o combustível de cada classe do tema, conforme a Tabela 13. Os valores para o modelo de combustível para área degradada (ADE) e malha urbana (BAC) são definidos como 99, conforme estipula o FARSITE™.

Tabela 13: Inserção dos campos “%_cobert” e “combust”, com os respectivos valores para cada classe.

Shape	Count	Spzclasse	Tipologia	Cobertura	Combust
Polygon	6	ADE	Área Degradada	0	99
Polygon	1	AGR	Agricultura	20	20
Polygon	11	BAC	Malha Urbana	0	99
Polygon	38	CAP	Capoeira	60	14
Polygon	4	CER	Cerrado	40	15
Polygon	12	CLR	Campo Rupestre	40	16
Polygon	10	MCI	Mata Ciliar	80	17
Polygon	20	PTC	Pastagem	30	18
Polygon	4	VAR	Vegetação de várzea	40	19

O tema vetorial foi então transformado em grid (matricial) usando os valores das células dos campos criados. Os dados de tamanho de célula, número de linhas e colunas devem ser guardados, pois o FARSITE™ exige que todos os temas de entrada tenham os mesmos valores. Neste caso, foi definido 30 m para o tamanho da célula, gerando 474 linhas e 660 colunas. Tamanhos de células menores tornariam o arquivo muito grande e pesado. A extensão e o tamanho de célula do grid de saída foram definidos como igual ao tema “uso_solo.shp”. O tema matricial “cobertura” e o tema “combustível”, derivados do tema “uso_solo”, são apresentados na Figura 23 e 24 respectivamente.

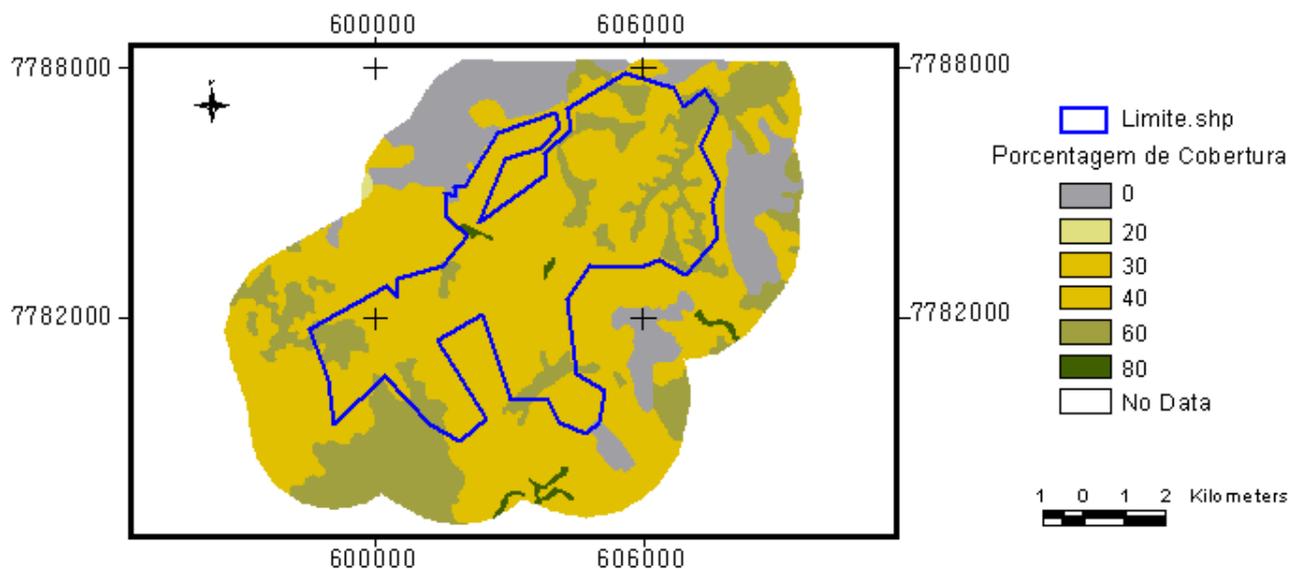


Figura 23: Mapa Temático "cobertura" para a área de interesse do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.

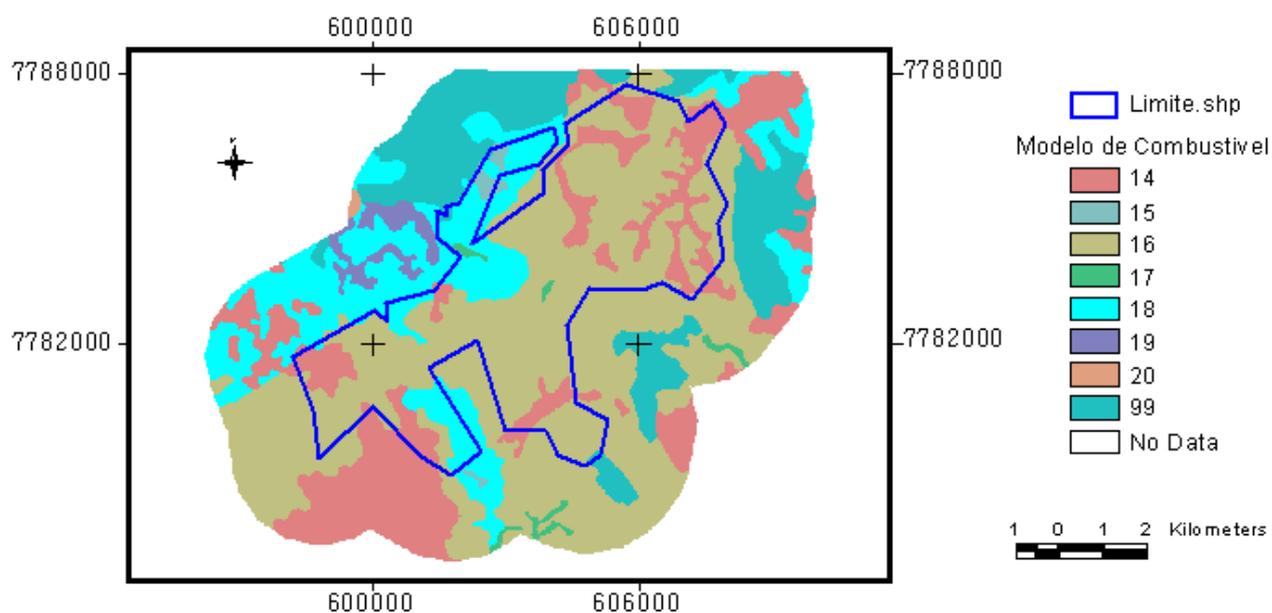


Figura 24: Mapa Temático "Modelo de Combustível" para a área de interesse do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.

Os grids foram então exportados no formato ASCII Raster para o diretório de entrada do FARSITE™ (C:/FARSITE / INPUT).

O fluxograma das operações realizadas para derivar os temas "cobertura" e "combustível" a partir do temas "MI_2575" e "MI_2573" pode ser consultado no Anexo 3.

4.3.2. Geração dos Temas Matriciais Elevação, Declividade e Exposição:

Como os dados referentes às curvas de nível do Parque Estadual Serra do Rola-Moça foram obtidos em arquivos digitais no formato L3D do programa SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas), foi necessário abri-los no SPRING e exportá-los no formato shapefile para o ArcView®. Além disso, os arquivos com a extensão **L3D** não são reconhecidos pela versão 3.6.03 do SPRING, sendo necessário a conversão para a extensão **SPR**. A exportação dos arquivos do SPRING seguiu as seguintes operações:

- a) Criação de um banco de dados: foi criado o banco de dados “c_n”, com gerenciador dBase.
- b) Criação de um projeto: foi definido o nome “rola_moca” do projeto, a projeção UTM/ SAD69 e o retângulo envolvente (X1: 175894.835, X2: 824105.165; Y1: 7453323.520, Y2: 8452268.357), Hemisfério S.
- c) Definição do Modelo de Dados: Categoria: “altimetria”, tipo de dados: MNT.
- d) Através do editor de texto Bloco de Notas, o conteúdo dos arquivos **L3D** foi copiado e colado nos arquivos de extensão **SPR**.
- e) Importação dos arquivos **SPR**: através do comando **Arquivo/ Importar**, os arquivos **SPR** (ASCII-SPRING) foram importados como Entidade Amostra (MNT), na escala 1: 500.000 e resolução de 30 m para X e Y. Foi atribuído o número das cartas (por exemplo, MI2572_1) como nome dos Planos de Informações (PI).
- f) Exportação dos arquivos no formato shapefile através do comando **Arquivo/ Exportar**.

Desta forma, cada arquivo **SPR** exportado do SPRING gerou 6 arquivos shapefile para o Arcview®, como demonstra a Tabela 14. Os arquivos gerados estavam na Projeção UTM, Datum SAD69.

Tabela 14: Arquivos gerados pela exportação dos arquivos SPR do SPRING.

Arquivo Origem	Arquivo gerado	Formato	Tamanho (Kb)
MI2572_2.spr	MI2572_2_lin.shp	PolyLineZ	2.975
	MI2572_2_l2d.shp	PolyLine	1.990
	MI2572_2_l3d.shp	PolyLineZ	2.975
	MI2572_2_pt.shp	PointZ	14
	MI2572_2_p2d.shp	Point	9
	MI2572_2_p3d.shp	PointZ	14
MI2573_1.spr	MI2573_1_lin.shp	PolyLineZ	4.636
	MI2573_1_l2d.shp	PolyLine	3.102
	MI2573_1_l3d.shp	PolyLineZ	4.636
	MI2573_1_pt.shp	PointZ	10
	MI2573_1_p2d.shp	Point	7
	MI2573_1_p3d.shp	PointZ	10

Já no ArcView, gerada uma nova vista (“Rola Moça Elevação”), os temas “MI2572_2_l2d.shp” e “MI2573_1_l2d.shp” foram inseridos e fundidos no tema “curvas_nivel.shp”. Usando “limite.shp” com uma margem externa de 5 km, o tema “curvas_nivel” foi cortado, gerando o tema “area_interesse.shp”.

O tema de linhas “area_interesse.shp” foi então convertido para uma grade triangular (*Triangular Irregular Network* - TIN). O campo “Sprcota” foi a fonte dos valores para a altitude. O TIN “MNT” (Figura 25) gerado possui 59.308 triângulos, 29.718 nós e a altitude varia de 880 a 1580 m. Segundo CÂMARA & MEDEIROS (1998), TIN representa uma superfície através de um conjunto de triângulos interligados, com uma estrutura vetorial de tipologia nó-arco.

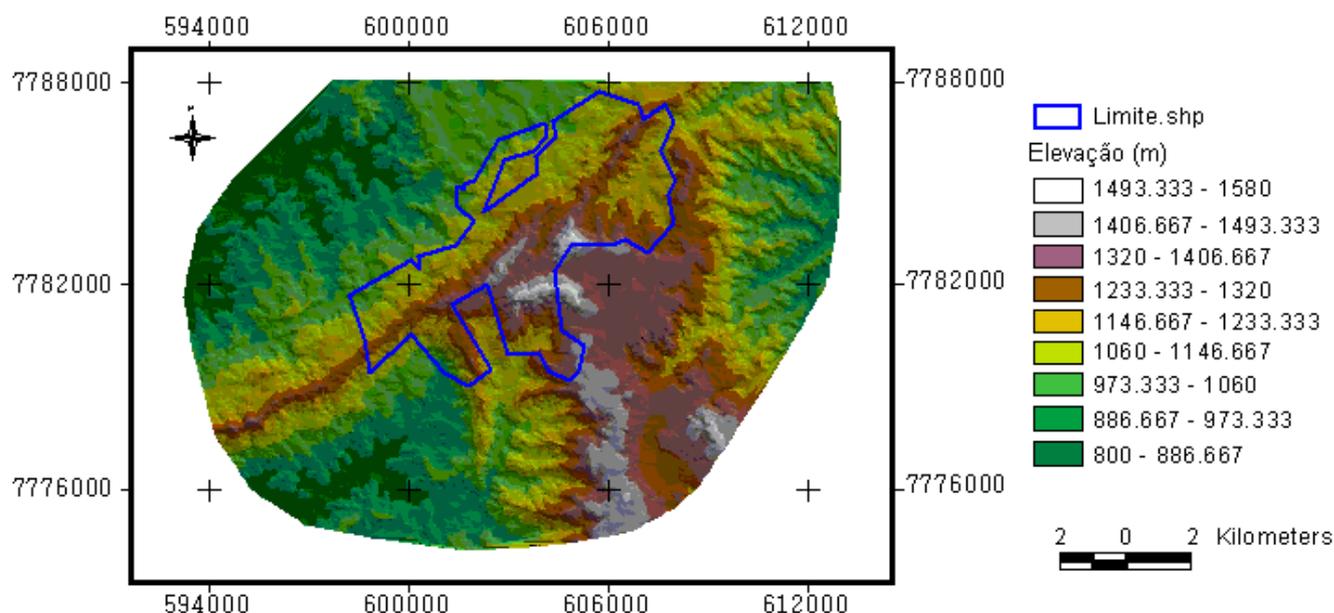


Figura 25: Modelo Digital de Elevação da área de interesse do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.

O passo seguinte foi transformar o TIN "MNT" em grid. Mas para que o grid de saída tivesse as mesmas características do grid "cobertura" e "combustível" (tamanho de célula 30m, linhas 474 e colunas 660) foi necessário inserir o tema "uso_solo.shp" para servir de molde.

O TIN "MNT" foi finalmente transformado no grid "elevação" (Figura 26). Na janela *Conversion Extent*, a extensão do grid de saída foi definida como igual ao tema "uso_solo.shp" e o tamanho de célula como especificado anteriormente.

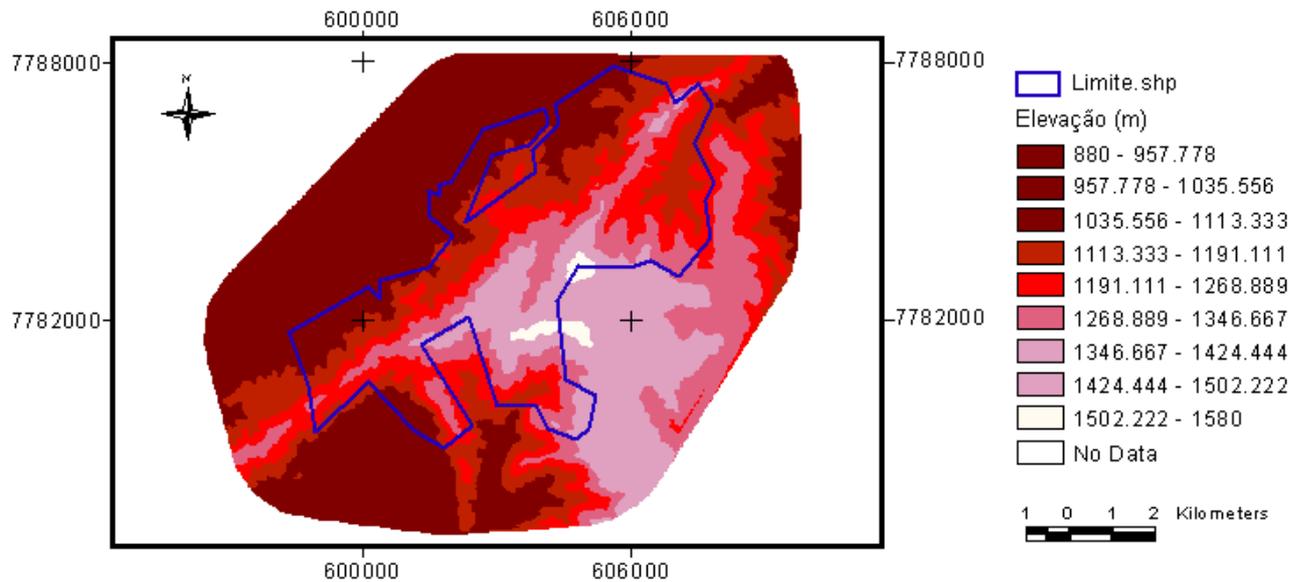


Figura 26: Mapa temático "elevação" do entorno do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.

Os grids "declividade" e "exposição" (Figura 27 e 28, respectivamente) foram derivados a partir do grid "elevação".

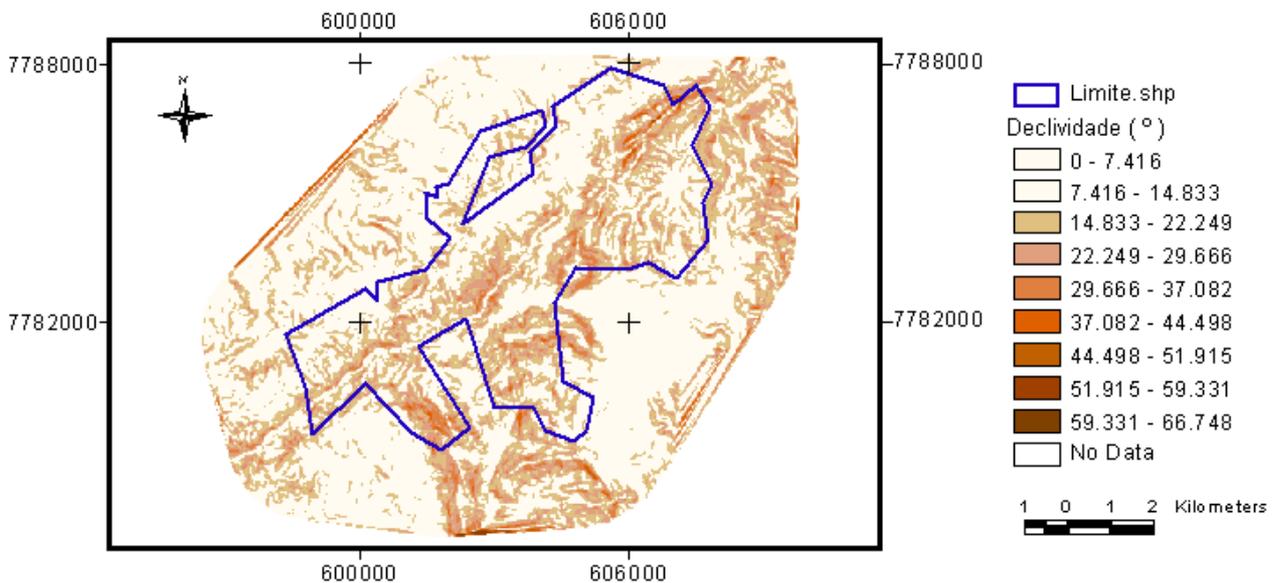


Figura 27: Mapa temático "declividade" do entorno do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.

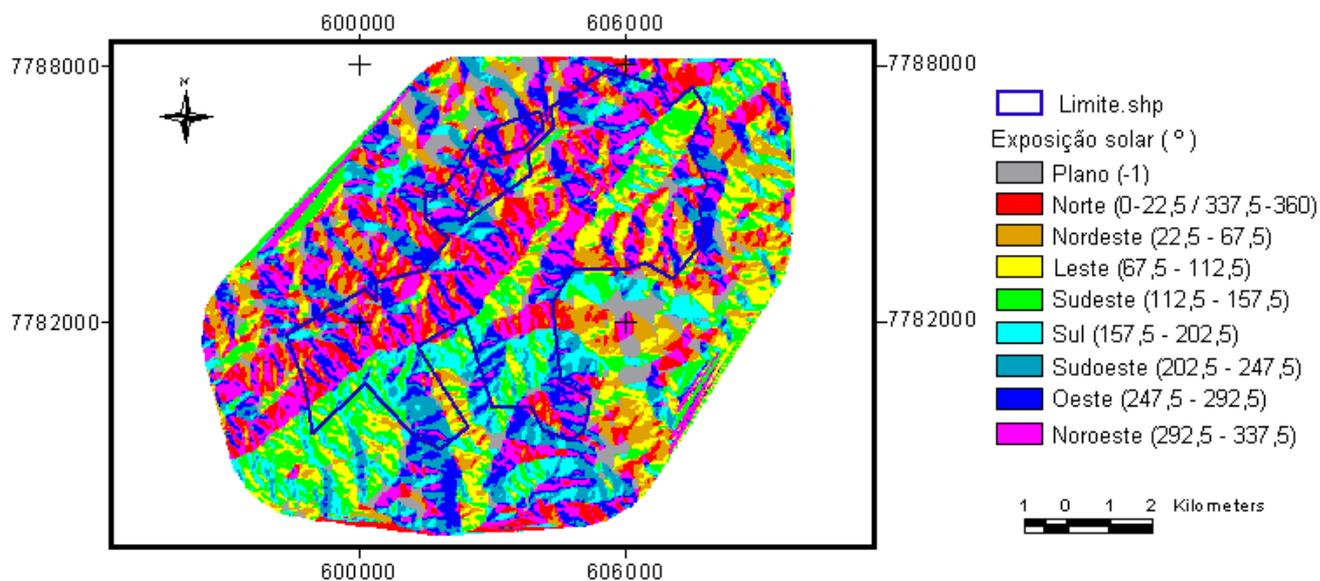


Figura 28: Mapa temático "exposição" do entorno do Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG.

Os grids “elevação”, “declividade” e “exposição” foram então exportados no formato ASCII Raster para o diretório de entrada do FARSITE™ (C:/FARSITE / INPUT).

O fluxograma das operações realizadas para derivar os temas matriciais “elevação”, “declividade” e “exposição” pode ser consultado no Anexo 4.

4.3.3. Geração do perímetro do incêndio:

As informações dos focos de calor registrados pelos satélites NOAA-12, NOAA-16 e MODIS, disponibilizados pelo INPE (INPE, 2003), foram armazenadas no banco de dados “Focos de Minas.mdb” do Microsoft Access®. Este banco de dados possui 3.131 focos de calor ocorridos em Minas Gerais de 20 a 24 de outubro de 2003. Através de uma consulta simples (Figura 29), com os critérios “Belo Horizonte”, “Nova Lima”, “Brumadinho” e “Ibirité” no campo Município, gerou-se a tabela “Focos Metropolitanos”, com 104 registros.

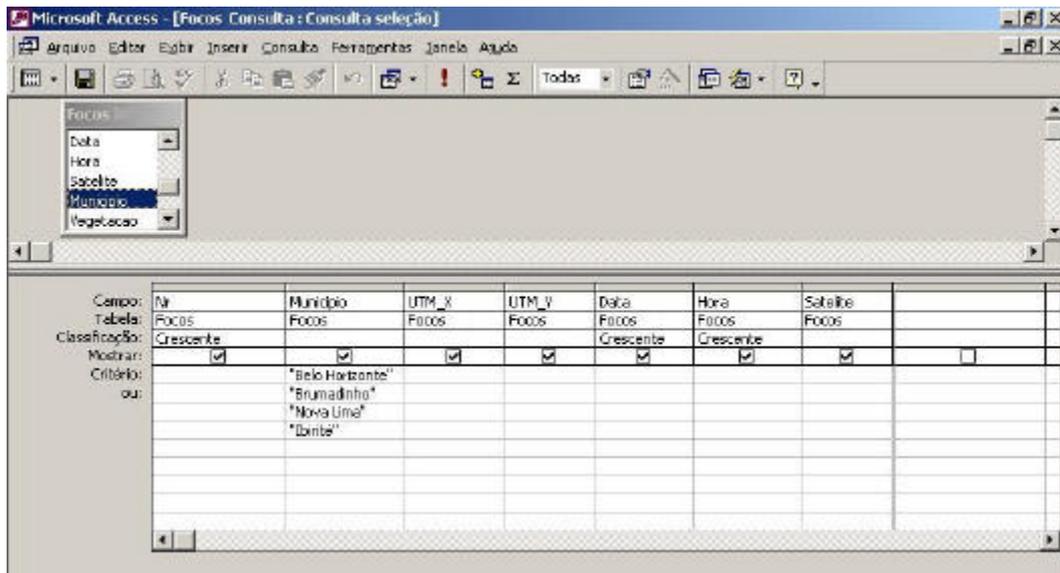


Figura 29: Estrutura da consulta simples da tabela "Focos" no Microsoft Access®.

A tabela "Focos Metropolitanos" do Access® foi conectada a tabela "focos" (Figura 30), recém criada no ArcView®, e transformada no tema "focos.shp".

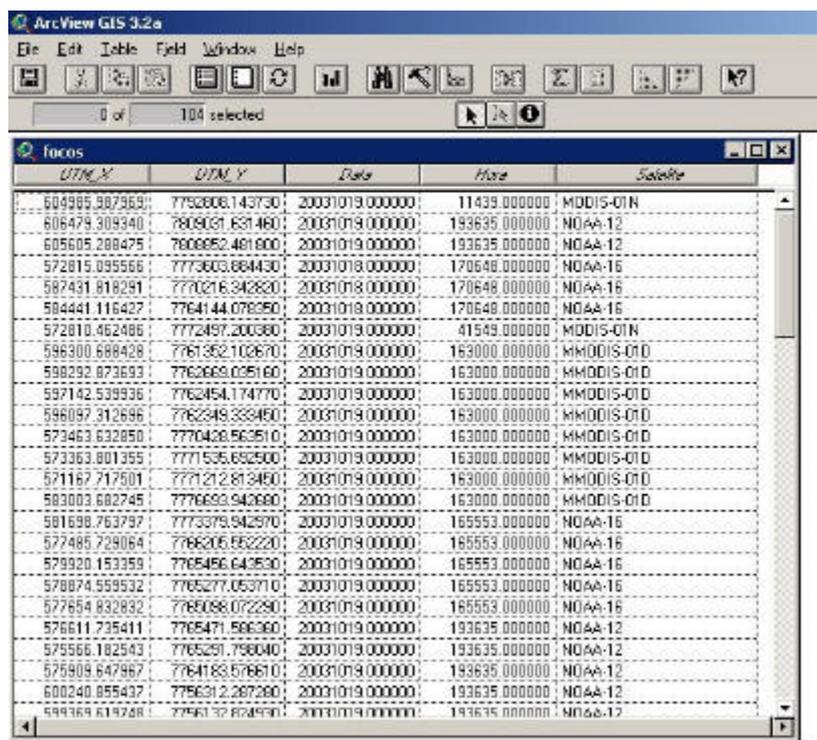


Figura 30: Tabela "focos" do ArcView criada a partir do banco de dados "Focos de Minas.mdb".

Usando o tema "limites.shp" com a margem externa de 5 km, o tema "focos.shp" foi cortado, gerando o tema "focos_rm.shp" apenas com os focos dentro da área de interesse (Figura 31). Dos 104 focos, 34 ocorreram dentro da área de interesse, sendo

que os focos mais externos foram conectados indicando um formato aproximado do perímetro total do incêndio.

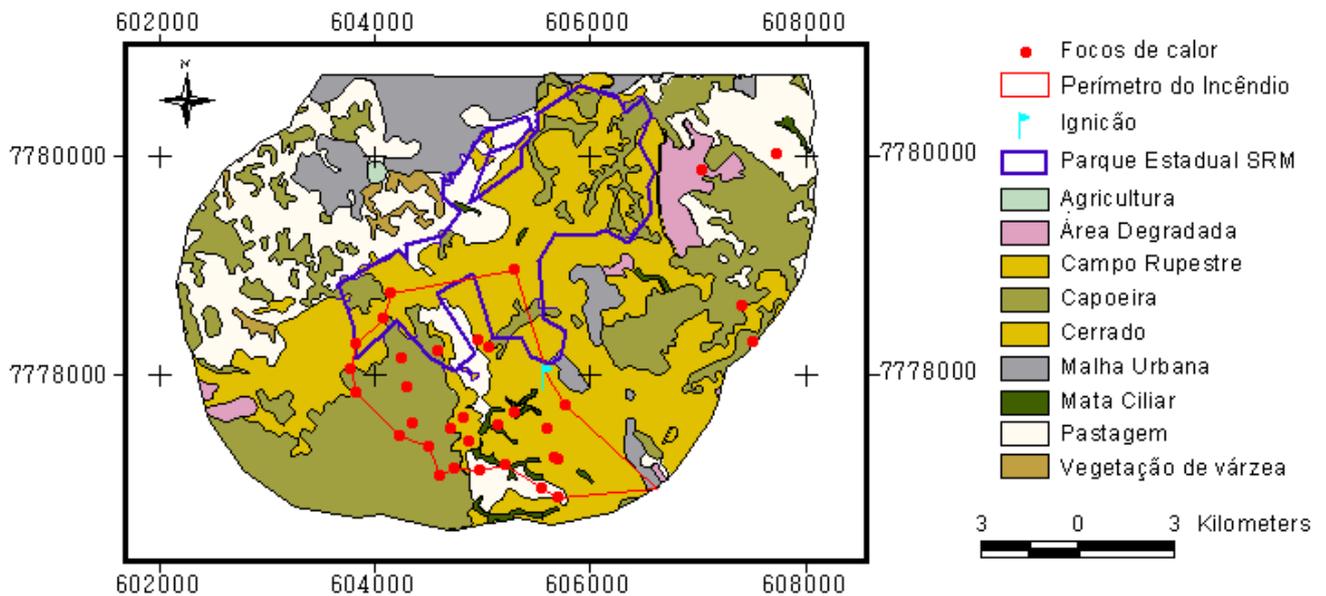


Figura 31: Focos de Calor indicando a projeção do formato aproximado do perímetro total do incêndio.

4.4. Construção da simulação:

A construção da simulação no FARSTIE™ se baseou em um incêndio ocorrido do dia 20 a 24 de outubro de 2003 nas imediações do Parque Estadual Serra do Rola-Moça. Este incêndio, como foi relatado por funcionários do IEF, começou no Condomínio Retiro das Pedras, queimando 3.400 hectares, dos quais 900 ha dentro do Parque (região do manancial da Catarina). Foram usados 2 helicópteros tipo Esquilo e cerca de 120 bombeiros trabalharam no combate.

Assim como o reprocessamento de dados foi todo construído no programa **ArcView®**, a construção da simulação do incêndio foi realizada no software FARSTIE™.

O primeiro passo para rodar uma simulação é a formação do arquivo de Projeto (**.FPJ**), composto pelos sete arquivos descritos abaixo:

- Arquivo Paisagem (**.LCP**): formado pelos cinco grids construídos no **ArcView®**.
- Arquivo Fatores de Ajustes (**.ADJ**): ajustes na taxa de propagação do fogo.
- Arquivo Umidade Inicial do Combustível (**.FMS**): a umidade deve ser fixada no começo da simulação para cada tipo de combustível, para o pré-cálculo da umidade a cada passo de tempo da simulação.

- Um arquivo de Conversão dos Modelos de Combustível (**.CNV**) ou um arquivo de Modelos Personalizados de Combustível (**.FMD**): conforme o grid de combustível.
- Arquivo Clima (**.WTR**): com os dados tabulares do clima.
- Arquivo Vento (**.WND**): com os dados tabulares do vento.
- Arquivo Período de Queima (**.BPD**): é usado para parar a simulação durante períodos de baixa atividade, como noites frescas e úmidas.

Como descrito, com os cinco grids (cobertura, combustível, elevação, declividade e exposição) construídos, foi criado um arquivo de Paisagem (**.LCP**) através da janela de construção do arquivo de Projeto (**.FPJ**). As unidades dos grids elevação (metros), declividade (graus) e exposição (graus) foram selecionadas de acordo com o default de criação do **ArcView®**. Para os grids combustível e cobertura foram selecionados as unidades *custom* (personalizada) e porcentagem respectivamente, de acordo com a criação dos grids. A latitude foi corrigida para -20° e o arquivo Paisagem “pesrm. LCP” foi então salvo.

O arquivo Fatores de Ajuste (**.ADJ**) foi criado inicialmente com todos os valores igual a 1,00, pois não se tinha idéia de como o fogo se comportaria nesta paisagem. Após rodar algumas simulações, observando o comportamento do fogo nos diferentes combustíveis, este arquivo foi refeito de maneira que o modelo de combustível número 14 passou para 1,5. Os valores foram digitados diretamente na janela **Spread Rate Adjustment Factors**, da janela **FARSITE Project**. O arquivo foi então salvo com a extensão (**.ADJ**).

O arquivo Umidade Inicial do Combustível (**.FMS**) foi criado com valores arbitrados por um especialista em manejo do fogo, como recomenda FINNEY (1998). Vale ressaltar que, por mais que seja uma pesquisa básica, não há nenhuma literatura que indique tais parâmetros. Os valores da umidade inicial para cada modelo de combustível foram digitados diretamente na janela **Initial Fuel Moistures** da janela **FARSITE Project** e são descritos na Tabela 15. O arquivo foi então salvo com a extensão (**.FMS**).

Tabela 15: Valores de Umidade inicial (%) atribuídos aos modelos de combustíveis.

Modelo	1h	10 h	100 h	Live H	Live W
14	50	60	70	200	150
15	20	35	50	120	140
16	15	25	25	80	100
17	10	15	25	80	100
18	10	15	25	80	100
19	30	45	55	140	160
20	50	45	55	140	160

O arquivo Modelo de Combustível Personalizado (**.FMD**) também foi criado com valores arbitrados por um especialista em manejo do fogo, como recomenda FINNEY (1998). Assim como no arquivo **.FMS**, não há nenhuma literatura que indique tais parâmetros. Os valores dos modelos de combustível (Tabela 16) foram digitados diretamente na janela **Custom Surface Fuel Models** da janela **FARSITE Project**. As unidades são inglesas. O arquivo foi então salvo com a extensão (**.FMD**).

Tabela 16: Valores atribuídos aos modelos de combustível.

Mod	1h	10h	100h	LH	LW	SAVl	SAVLh	SAVLw	Depth	ExtM	HtD	HtL
14	30	2	7	7	4	50	400	3000	1	59	30000	23000
15	45	2	7	20	4	50	400	500	3	59	18800	17000
16	30	20	14	20	14	60	300	2000	4	69	17000	14000
17	5	1	0	3	5	50	150	300	1	40	16500	15000
18	60	8	4	50	1	50	300	250	30	90	16500	14000
19	5	0	0	3	5	50	100	200	1	40	16500	15000
20	5	0	0	3	5	50	100	200	1	40	16500	15000

Na janela **Custom Surface Fuel Models** (Figura 32), o botão **Calculate** permite a checagem de alguns parâmetros do fogo, tal como ocorre no BEHAVE. Desta forma, foi possível conferir a taxa de propagação e o comprimento de chama dos modelos de combustíveis antes de rodar a simulação.

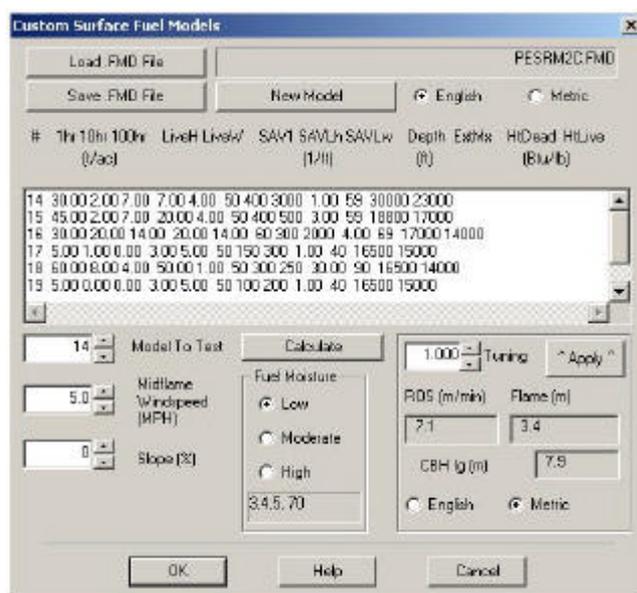


Figura 32: Teste dos Parâmetros do Modelo de Combustível número 14 na janela Custom Surface Fuel Models do FARSITE™.

O arquivo do Clima (.WTR) foi gerado a partir dos dados coletados na Plataforma de Coleta de Dados Meteorológicos – Estação Belo Horizonte e armazenados em uma planilha do Excel® (Anexo 5). Os dados climáticos de interesse foram selecionados, copiados e colados na janela **Weather Stream Editor** da janela **FARSITE Project** (Tabela 17). O arquivo foi então salvo com o nome de “PESRM.WTR”.

Tabela 17: Índices Climáticos do arquivo .WTR do FARSITE™.

Month	Day	Precip	Hour1	Hour2	Temp1	Temp2	Humid1	Humid2	Elevation
11	19	0.00	900	1600	12	25	76	43	1035
11	20	0.00	900	1600	18	34	46	16	1035
11	21	0.00	600	1600	20	36	39	16	1035
11	22	0.00	900	1500	22	36	40	22	1035
11	23	0.00	900	1500	21	34	78	54	1035
11	24	0.00	600	1600	15	27	96	77	1035

Para a simulação reconhecer o dia 24 como o último dia foi necessário duplicar o último dia através do botão **Duplicate Last Day**, tanto no arquivo do clima quanto no arquivo do vento. O dia 19, mesmo não fazendo parte da duração do incêndio, foi inserido como período de condicionamento da umidade do combustível morto.

O arquivo do Vento (.WND) também foi gerado a partir dos dados coletados na Plataforma de Coleta de Dados Meteorológicos – Estação Belo Horizonte e armazenados em uma planilha do Excel® (Anexo 5). Os dados do fluxo do vento de interesse foram selecionados, copiados e colados na janela **Wind Stream Editor**

(Figura 33) da janela **FARSITE Project**. O arquivo foi então salvo com o nome “PESRM.WND”.

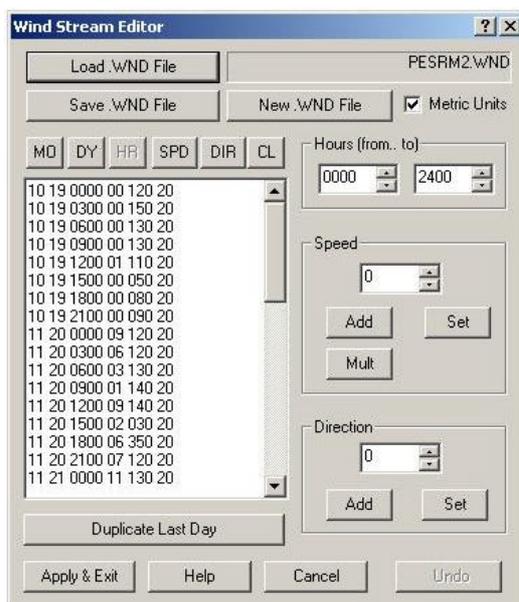


Figura 33: Editor do arquivo do vento (.WND) do FARSITE

E para finalizar foi criado um arquivo de Período de Queima (.BPD). Por entender que sob as condições atmosféricas do local na data, optou-se por manter o incêndio também no período noturno. Assim, o arquivo do período de queima (.BPD) foi editado diretamente no editor do Período de Queima do FARSITE e salvo com o nome de “PESRM. BPD”. Os valores do arquivo podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 18: Valores do arquivo Período de Queima do FARSITE.

Mês	Dia	Hora Inicial	Hora Final
10	19	0000	2400
10	20	0000	2400
10	21	0000	2400
10	22	0000	2400
10	23	0000	2400
10	24	0000	2400

Com os sete arquivos prontos, Paisagem (.LCP), Fatores de Ajuste (.ADJ), Umidade Inicial do Combustível (.FMS), Modelo de Combustível Personalizado (.FMD), Clima (.WTR), Vento (.WND) e Período de Queima (.BPD), o arquivo do Projeto (.FPJ) foi salvo com o nome “PESRM.FPJ”.

O botão  exibiu o panorama do arquivo Paisagem e a Legenda da Simulação. Neste cenário foi introduzido o arquivo vetor “limites.shp” com os limites do Parque e o arquivo vetor “focos_rm.shp” com as coordenadas dos focos de calor dos satélites fornecidas pelo INPE. O arquivo vetor da rodovia BR-040 também foi inserido na

paisagem como uma barreira, assim como o arquivo vetor “ignicao.shp” com a provável localização da ignição.

Foram feitas várias simulações até que se chegasse a uma simulação com resultado final satisfatório. Em cada simulação, uma alteração era realizada com objetivo de observar como tais fatores alteravam o formato do incêndio e a quantidade de área queimada, e em seguida, gravado um arquivo de *Bookmark* (.BMK) para registrar toda a evolução da simulação.

Os parâmetros do modelo foram definidos inicialmente com **Time Step** de 1:00 hora, **Visible Steps** de 2:00 hora e **Perimeter Resolution** e **Distance Resolution** de 90 metros. O **Time Step** e o **Visible Steps** não variaram de um arquivo para outro, mas **Perimeter Resolution** e **Distance Resolution** foram progressivamente diminuídas até igualar a resolução do grid (30 m), como recomendado por FINNEY (1998). Segundo o autor, seria possível diminuir até a metade da resolução do grid, mas o tempo transcorrido para rodar toda a simulação ficaria muito longo.

Baseada na simulação final do incêndio, “queima3g”, foi construída a simulação de combate. Com os dados do relato do incêndio foi criado um arquivo de combate terrestre e um arquivo de combate aéreo.

A criação do arquivo de combate terrestre tem duas etapas: entrada de valores no arquivo “Ground Resources.CRW” e a localização das equipes de combates no terreno. O arquivo “Ground Resources. CRW” segue estrutura da Tabela 19.

Tabela 19: Estrutura do arquivo "Ground Resources" do FARSITE™.

#nome da 1ª brigada #	ponha o nome entre #
<i>unidades</i>	METROS_POR_MINUTO, PES_POR_MINUTO
COMPRIMENTODECHAMA_LIMITE 0.0	metros ou pés
<i>modelo_comb Taxa produção em linha</i>	modelo de combustível seguido pela produtividade da equipe no combate
<i>modelo_comb Taxa produção em linha</i>	
<i>modelo_comb Taxa produção em linha</i>	
99	finalizando
CUSTO_POR_HORA 0.00	opcional
#Name de 2ª brigada #	junte a descrição das outras equipes.

O arquivo “combate3g.crw” utilizado para definir os recursos terrestres de combate da simulação teve a seguinte estrutura:

#AC1# METERS_PER_MINUTE FLAME_LIMIT 2.000000 ... 14 1.50
--

```

15  3.00
16  4.00
17  1.00
18  3.00
19  1.00
20  1.00
...
99
#AC2a#
METERS_PER_MINUTE
FLAME_LIMIT 2.000000
...
14  1.50
15  3.00
16  4.00
17  1.00
18  3.00
19  1.00
20  1.00
...
99
#AC2b#
METERS_PER_MINUTE
FLAME_LIMIT 2.000000
...
14  1.50
15  3.00
16  4.00
17  1.00
18  3.00
19  1.00
20  1.00
...
99

```

onde AC1, AC2a e AC2b são os nomes das equipes de combate e o tamanho de chama máximo suportado pelas equipes (Flame_Limit) é de 2,0 metros. Os três pontinhos representam os outros modelos de combustíveis ausentes na paisagem construída.

A localização das equipes de combates, assim como o método (direto, indireto ou paralelo), foi realizada manualmente na janela da paisagem do FARSITE™. Como a localização das equipes foi baseada nas indicações dos arquivos de saída (mapas) do FARSITE™, tais como direção e velocidade de propagação, comprimento de chama, tempo de chegada e intensidade do fogo, é descrita no item Resultados e Discussões.

No FARSITE™, o ataque direto extinguirá porções sucessivas de uma frente ativa (perímetro) do incêndio, que serão exibidos como segmentos pretos estacionários ao longo do perímetro. Um ataque indireto é definido como a construção de uma barreira intransponível para o fogo ao longo de uma rota predeterminada, independente da direção ou padrão de crescimento. Há a opção da brigada usar o contra-fogo no

combate indireto, mas é necessário decidir cuidadosamente de qual lado da linha do fogo que o contra-fogo será construído (a partir da perspectiva da brigada). Um ataque paralelo envolve a construção de uma barreira com uma distância fixa a partir de uma frente de incêndio ativa e em uma direção paralela a ela, isto é, tangencial.

A criação do arquivo de combate aéreo segue o procedimento do arquivo de combate terrestre, com duas etapas: entrada de valores no arquivo "Air Resources.air" e a localização das aeronaves de combates na paisagem. A maneira mais fácil de construir um arquivo "Air Resources.air" é pelo Editor Personalizado do FARSITE™ (Figura 34).

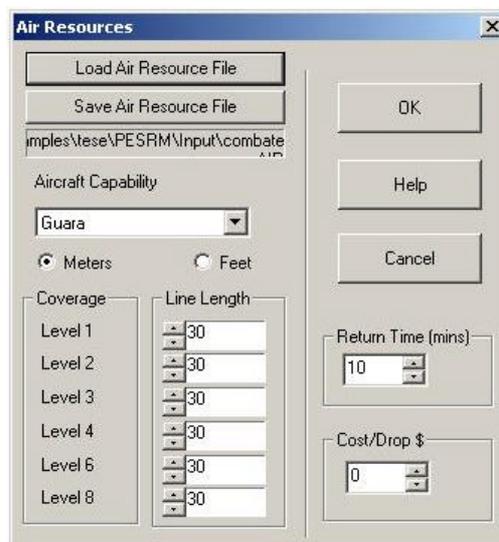


Figura 34: Editor do arquivo "Air Resource" do FARSITE.

Estudos mostram que a eficiência de um lançamento de retardante depende da densidade do retardante aplicado a um tipo de combustível específico. Combustíveis pesados, tal como madeiras, requerem densidades mais altas de retardante em comparação com combustíveis uniformemente finos, tais como grama. O nível de cobertura no qual o arquivo se refere segue a classificação de GEORGE (1973), definindo as densidades de retardantes em seis níveis de cobertura. Os 6 níveis de cobertura correspondem de 1 a 6 galões (1 gal = 1,61 litros) por 100 ft² (10,89 m²) de superfície de chão.

Para cada aeronave inserida é preciso entrar com os valores de comprimento da linha (*Line Length*) do lançamento para cada nível de cobertura. O arquivo "queima3g.air" para a simulação do incêndio foi definido com dois helicópteros, com nome "Guará" e "Alugado" e definido o comprimento da linha de 30 metros para todos os níveis de cobertura, uma vez que a densidade do retardante por área é tida pela

velocidade da aeronave, não por controle do “Bambi Bucket”. O tempo de duração por dia foi de 4 horas para o “Guará” e para o “Alugado”.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As operações realizadas pelo ArcView® não representaram obstáculos para a realização deste trabalho. A maior preocupação na preparação dos dados foi manter a compatibilidade dos grids (tamanho de célula e extensão de saída). As ferramentas de análise espacial foram amplamente utilizadas e as extensões “*Spatial analyst*” e “*3D Analyst*” se mostraram fáceis e eficientes na criação de TIN e na derivação do grid de declividade e exposição. O uso deste software mostrou-se mais que oportuno, foi fundamental para a elaboração dos temas e para as análises finais.

Já no FARSITE, mesmo antes de realizar as simulações de incêndio, foi possível conferir os valores arbitrados para a caracterização (parâmetros) do comportamento do fogo. Os parâmetros “taxa de propagação” e “comprimento de chama” da janela **Custom Surface Fuel Models** (Figura 32) permitiu fazer ajustes nas variáveis arbitradas para os modelos de combustível (Tabela 20).

Tabela 20: Parâmetros do comportamento do fogo calculados pelo FARSITE™.

Modelo de Combustível	Código da Classe	Tipologia Vegetal	Taxa de Propagação (m.min ⁻¹)	Comprimento de Chama (m)
14	CAP	Capoeira	6,3	3,4
15	CER	Cerrado	8,9	20,4
16	CLR	Campo natural rupestre	11,3	9,2
17	MCI	Mata ciliar	1,3	2,8
18	PTC	Pastagem	23,3	15,5
19	VAR	Vegetação de várzea	0,8	1,7
20	AGR	Agricultura	0,8	1,7

De uma maneira geral, todos os modelos de combustíveis apresentaram taxas de propagação do fogo coerentes com a tabela de classificação de propagação do fogo de BOTELHO & VENTURA (1990) (Tabela 21), citado por BATISTA (1998). Porém, os valores de comprimento de chama apresentaram distorções em relação ao esperado, principalmente para os modelos 15 e 18.

Tabela 21: Classificação da velocidade de propagação do fogo.

Velocidade (m.min ⁻¹)	Propagação do Fogo
< 1,98	Lenta
1,98 a 9,96	Média
9,96 a 69,96	Alta
> 69,96	Extrema

5.1. Área Queimada e Formato do Incêndio

A tabela de área queimada produzida pelo FARSITE™ (Anexo 6) descreve dois tipos de área, “Horizontal” (área representada em projeção horizontal) e “Slope” (área projetada com a inclinação do terreno).

A área queimada total foi de 3.443,845 ha na área inclinada e 3.352,617 ha na horizontal. A Figura 35 demonstra a evolução da área queimada descrita na tabela do FARSITE no decorrer do período de queima (horas corridas).

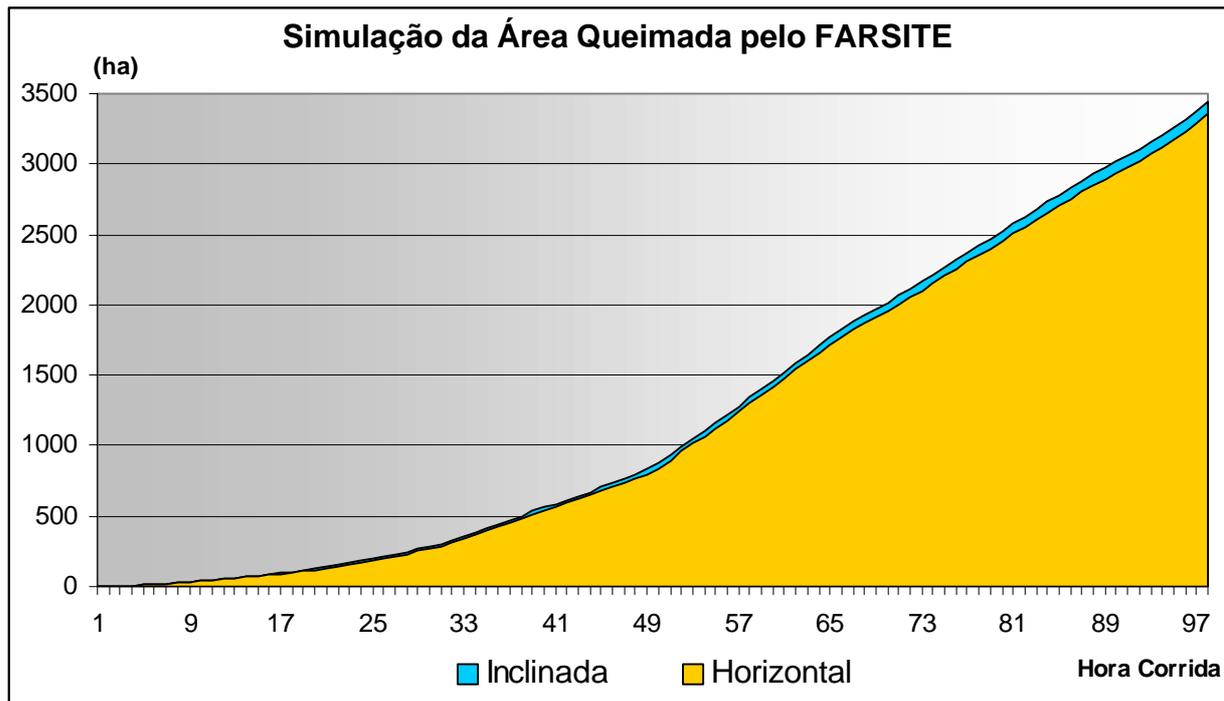


Figura 35: Evolução da simulação de incêndio através da área queimada inclinada e a área queimada horizontal.

Pelo gráfico é possível perceber que o incêndio levou cerca de 52 horas para queimar 1.000 ha, mais 18 horas até atingir 2.000 ha e mais 21 horas para chegar aos 3.000 ha. Mais precisamente, do início do incêndio (12:00 horas do dia 20) à hora 38 (02:00 horas do dia 22), a área queimada era de 510,492 ha.

A tabela da área queimada (Anexo 6) permitiu ainda calcular o aumento de área de um perímetro do fogo para o perímetro seguinte. O aumento de área não foi constante, visto que as características locais (topografia, combustível, clima,...) e temporais (noite e dia) determinam um maior ou menor avanço do incêndio. A Figura 36 exhibe o aumento de área ao longo da simulação, com os períodos de maior e menor incremento de área.

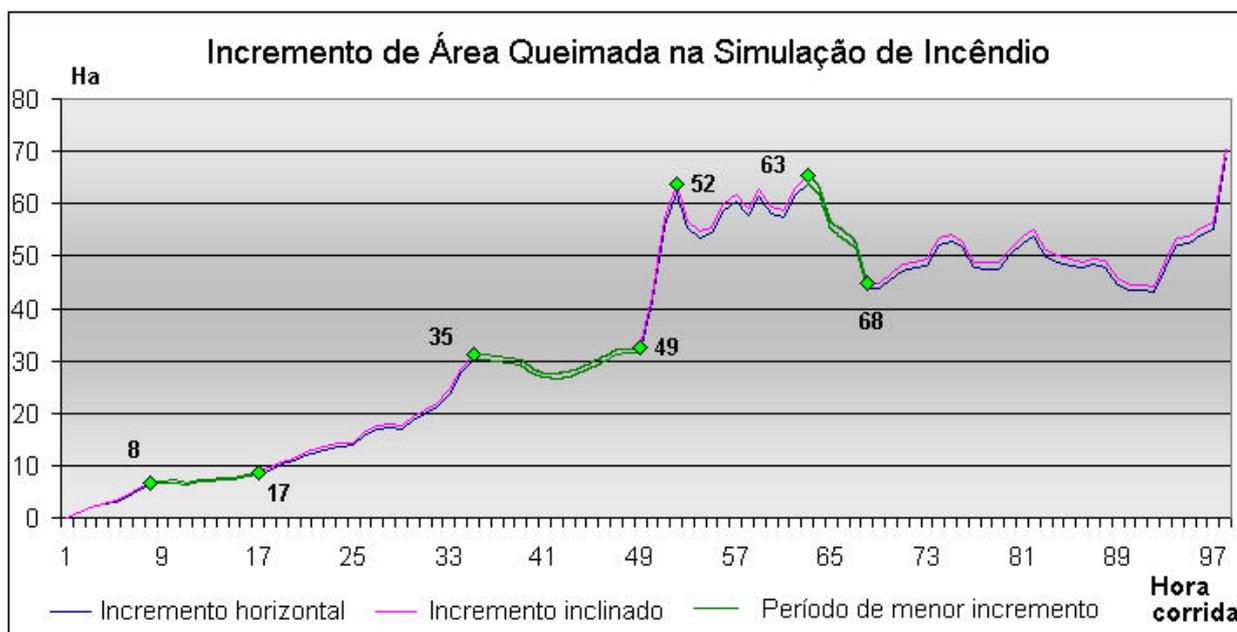


Figura 36: Períodos de maior e menor avanço do incêndio florestal.

No gráfico, os períodos de menor incremento e de estabilidade da curva (janelas) são da hora 8 (20:00 h do dia 20/10) até a hora 17 (05:00 h do dia 21/10), da hora 35 (23:00 h do dia 21/10) a 49 (13:00 h do dia 22/10) e da hora 63 (03:00 h do dia 23/10) a 68 (08:00 h do dia 23/10). Já no período da hora 49 (13:00 h do dia 22/10) a 52 (16:00 h do mesmo dia) é o momento de maior incremento de área queimada.

Os valores de área queimada da tabela produzida pelo FARSITE™ (Anexo 6) foram então comparados com a área queimada real e a área obtida pela projeção dos focos de calor (Tabela 22).

Tabela 22 : Comparação entre a área queimada simulada pelo FARSITE e as áreas real e projetada.

Situação	Área Queimada (ha)	Área do Parque (ha)
Descrito por funcionários (real)	3.400,000	900,000
Simulado pelo FARSITE	3.443,845	728,017
Projeção dos Satélites	3.351,383	728,303

A proximidade entre os valores da área queimada real e simulada demonstra que o FARSITE predice com eficiência o comportamento do fogo durante o período de queima. Desta forma, é possível afirmar que os valores atribuídos para os modelos de combustível e para os modelos de umidade inicial estão bastante próximos do real.

A Tabela 23 discrimina a área queimada por tipologia vegetal. Este tipo de discriminação permite tanto a quantificação quanto a qualificação do dano ambiental, facilitando o cálculo da valoração quando de um processo civil ou criminal.

Tabela 23: Discriminação da tipologia vegetal queimada.

Tipologia	Área Queimada (ha)	% do Total	Área do Parque (ha)	% do Total
Campo Rupestre	2.693,532	78,21	516,612	70,96
Capoeira	157,892	4,58	80,148	11,01
Cerrado	8,263	0,25	0,155	0,02
Malha Urbana	68,788	2,00	5,452	0,75
Mata Ciliar	76,852	2,23	0	0
Pastagem	438,518	12,73	125,650	17,26
TOTAL	3.443,845	100	728,017	100

Pelos valores apresentados, percebe-se que o campo rupestre foi a tipologia mais afetada pelo incêndio, tanto em relação à área total queimada quanto à área do Parque atingida.

Apesar da semelhança entre os valores de área queimada real e simulada, o formato do incêndio simulado pelo FARSITE foi sensivelmente diferente da projeção do formato do incêndio gerada pelos satélites NOAA-12, NOAA-16 e MODIS. Dos 3.351,383 ha de área queimada projetada, 2.574,7567 ha (76,8 %) coincidiu com a área simulada pelo FARSITE™, sendo que 776,6263 ha foi projetada e não simulada e 869,088 ha foi simulada e não projetada. As Figuras 37 e 38 demonstram a diferença entre o formato do incêndio simulado e do projetado.

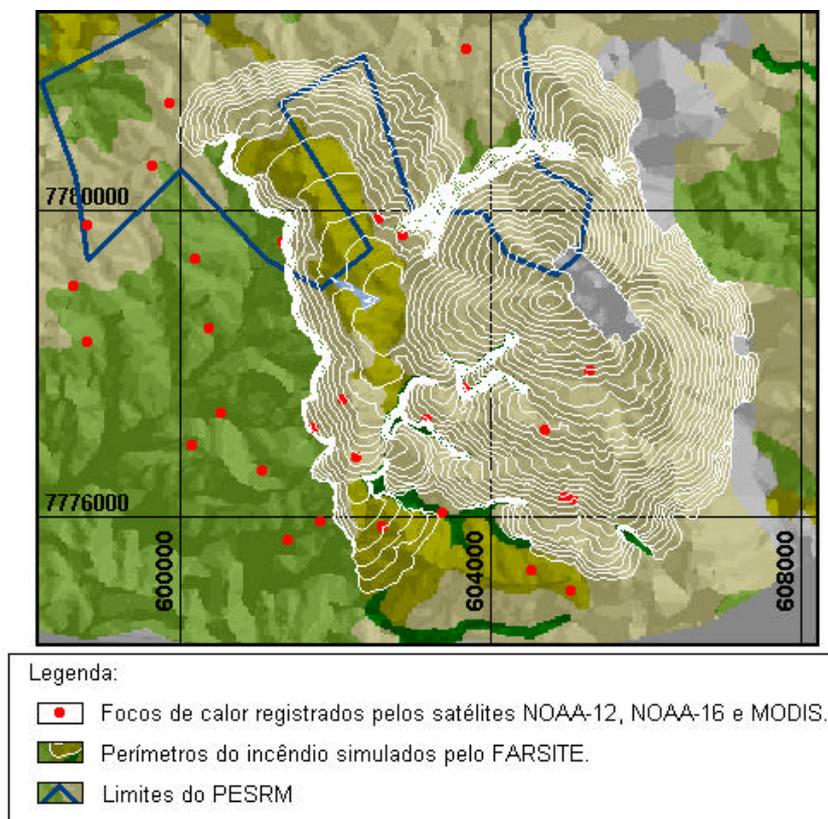


Figura 37: Simulação dos perímetros do incêndio pelo programa FARSITE™, ocorrido no Parque Estadual Serra do Rola-Moça entre 20 e 24/10/2003,.

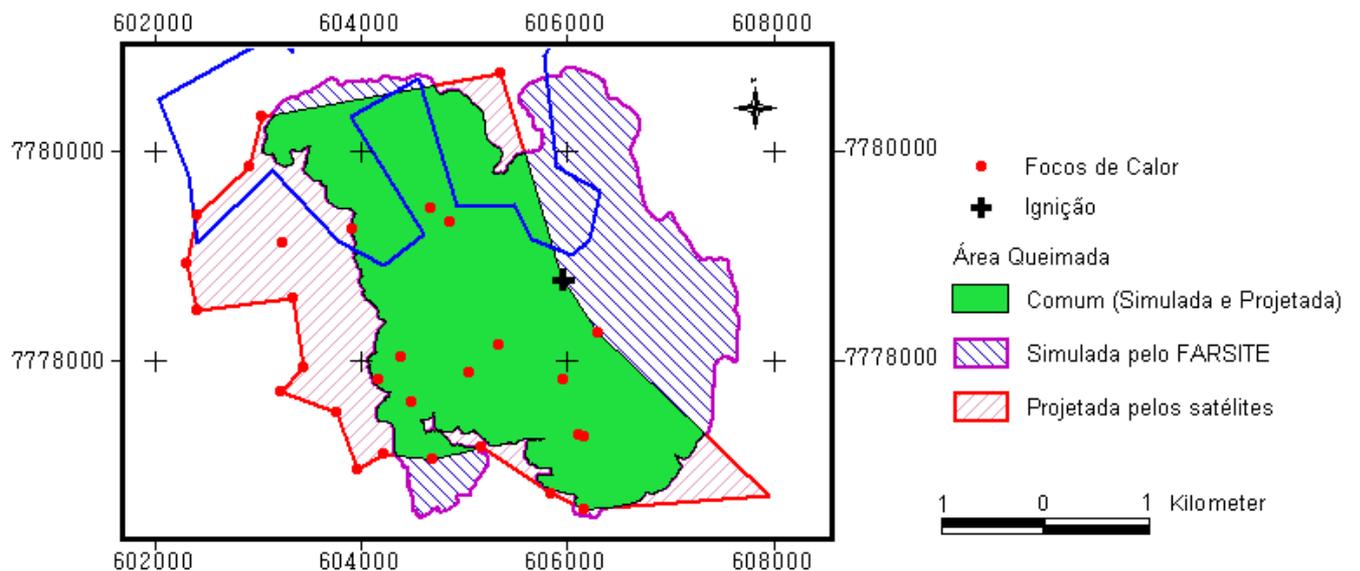


Figura 38: Comparação entre a área queimada simulada pelo programa FARSITE™ e a área queimada projetada pelos satélites NOAA-12, NOAA-16 e MODIS para o incêndio no Parque Estadual Serra do Rola-Moça, MG, entre 20 e 24/10/2003.

O formato tridimensional (3-D) do incêndio pode ser observado no Anexo 7.

5.2. Perímetro do Incêndio e Estratégias de Combate

O FARSITE™ também produz uma tabela com os perímetros horizontal e inclinado do incêndio (Anexo 6). O perímetro horizontal do incêndio alcançou 46,6829 quilômetros de linha de fogo, enquanto o inclinado atingiu 47,6968 quilômetros.

Para visualizar a localização dos perímetros do incêndio pode-se utilizar o arquivo vetorial do perímetro do fogo (de linhas ou polígonos) ou o arquivo raster no formato ASCII chamado “Time of Arrival.toa” (Tempo de Chegada), que descreve o tempo que a frente do fogo leva da origem (ignição) até um ponto. Estes arquivos são produtos de saída do FARSITE™ e podem ser visualizados no ArcView® ou no próprio FARSITE™.

Para visualizar a localização do perímetro do incêndio mais favorável ao combate, isto é, as janelas de menor incremento (Figura 36), o arquivo vetorial do perímetro do fogo (queima3g_lin.shp) foi combinado com o mapa temático da elevação. O resultado desta combinação pode ser observado na Figura 39.

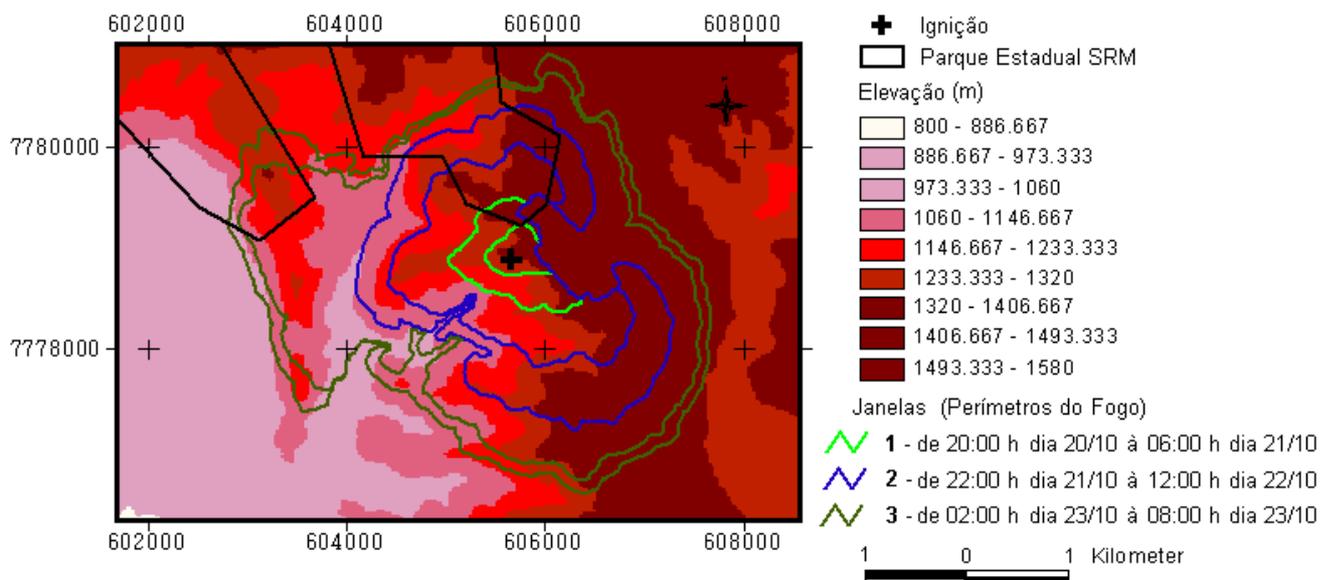


Figura 39: Visualização da localização dos perímetros do incêndio mais propícios para o combate.

Pelo mapa temático de elevação é possível constatar que o relevo é um fator limitante para o combate do incêndio na região. Sendo assim, o perímetro da janela 2 foi considerado o mais propício para o combate, visto que este se localiza em um fundo de vale.

O número de equipes da frente de combate está diretamente relacionado com as frentes do incêndio, isto é, as direções de propagação do fogo. Para isto, o arquivo "Spread Direction.sdr" (arquivo raster ASCII de saída do FARSITE™) exhibe a direção de propagação do fogo em azimutes. O mapa temático "queima3g.sdr" com a direção de propagação do fogo pode ser visto na Figura 40.

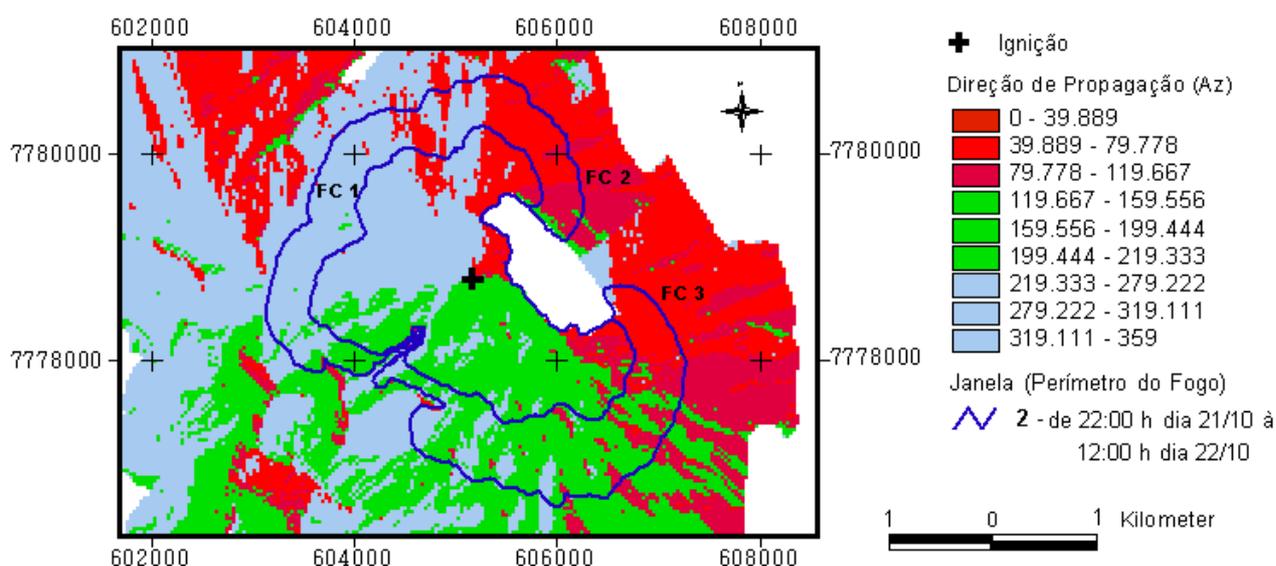


Figura 40: Visualização do arquivo Direção de Propagação do FARSITE, indicando as direções de propagação do incêndio e as frentes de combate (FC) 1, 2 e 3.

Pelo arquivo da direção de propagação observa-se três direções nítidas de propagação do incêndio. Cada uma das frentes do fogo representa uma frente de combate.

A estratégia de combate adotada foi conter primeiramente o avanço do incêndio onde as taxas de propagação fossem mais altas. Para isto, o FARSITE™ produz o arquivo raster de saída “Rate of Spread.ros” (taxa de propagação) no formato ASCII que pode ser visualizado no próprio FARSITE™ ou no ArcView®. O arquivo “queima3g.ros” (Figura 46) indica as regiões onde as taxas são mais altas.

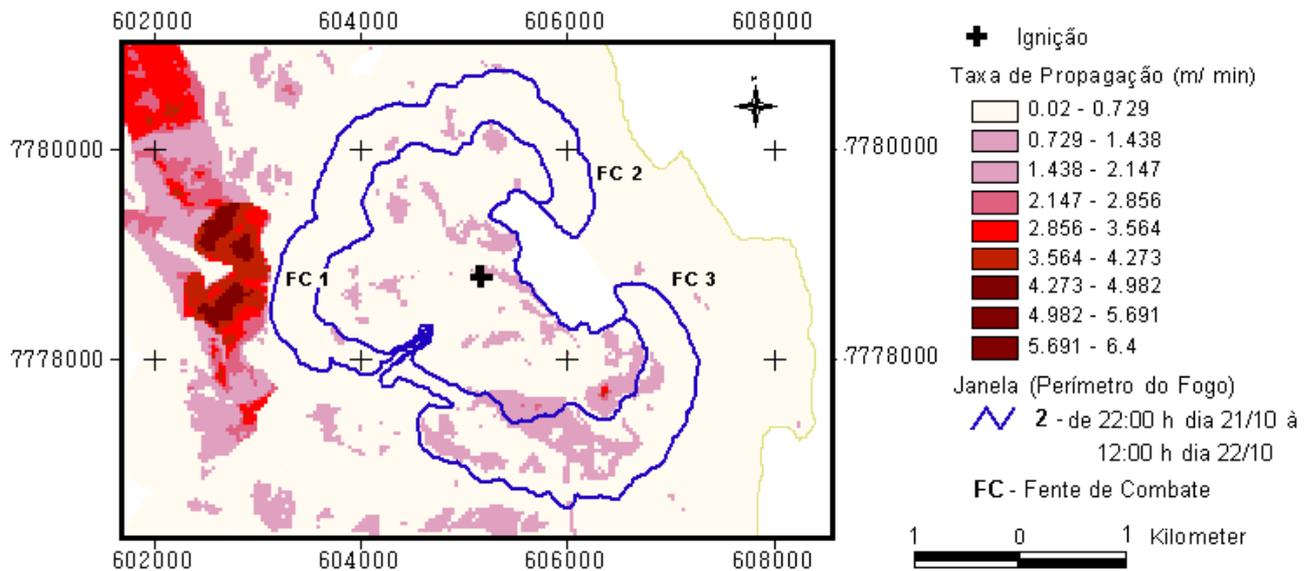


Figura 41: Visualização do arquivo “Taxa de Propagação” do FARSITE.

Através do arquivo, a estratégia adotada foi a seguinte: a frente de combate (FC) 2 e 3 seguiriam em direção a FC1, a primeira em sentido anti-horário e a última em sentido horário. FC1 se estenderia ao longo da mancha de propagação mais rápida.

O método de combate, direto, indireto ou paralelo, foi definido utilizando o parâmetro Intensidade do fogo. Este parâmetro define a quantidade de energia liberada por unidade de comprimento da frente do fogo. O FARSITE™ produz o arquivo matricial “Fireline Intensity.fli”, no formato ASCII, da intensidade do fogo. O arquivo “queima3g.fli” (Figura 42) demonstra a quantidade de energia nas frentes de combate.

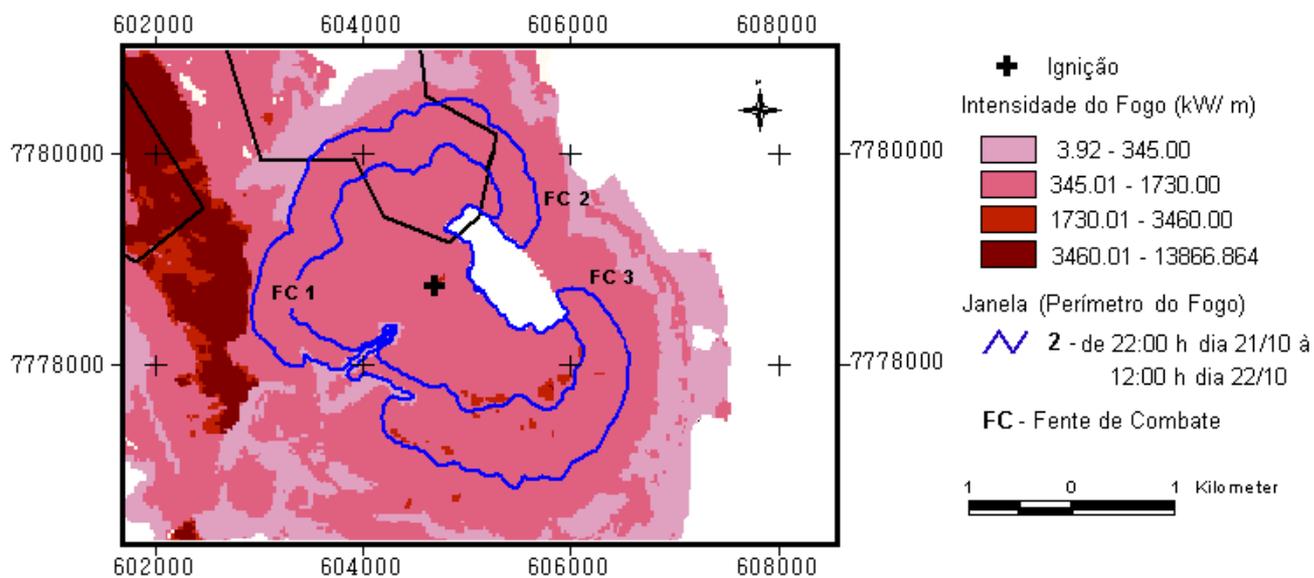


Figura 42: Visualização do arquivo “Intensidade do Fogo” do FARSITE, indicando as intensidades da linha do fogo.

Como praticamente todo o perímetro do incêndio está na classe de 345 kW até 1730 kW, não é indicado o combate direto (ver Tabela 2, pág. 21). Optou-se pelo combate indireto (construção de aceiro). A localização dos aceiros foi determinada pela conexão das manchas urbanas com as manchas de capoeira (Figura 43) e pelo relevo (Figura 44).

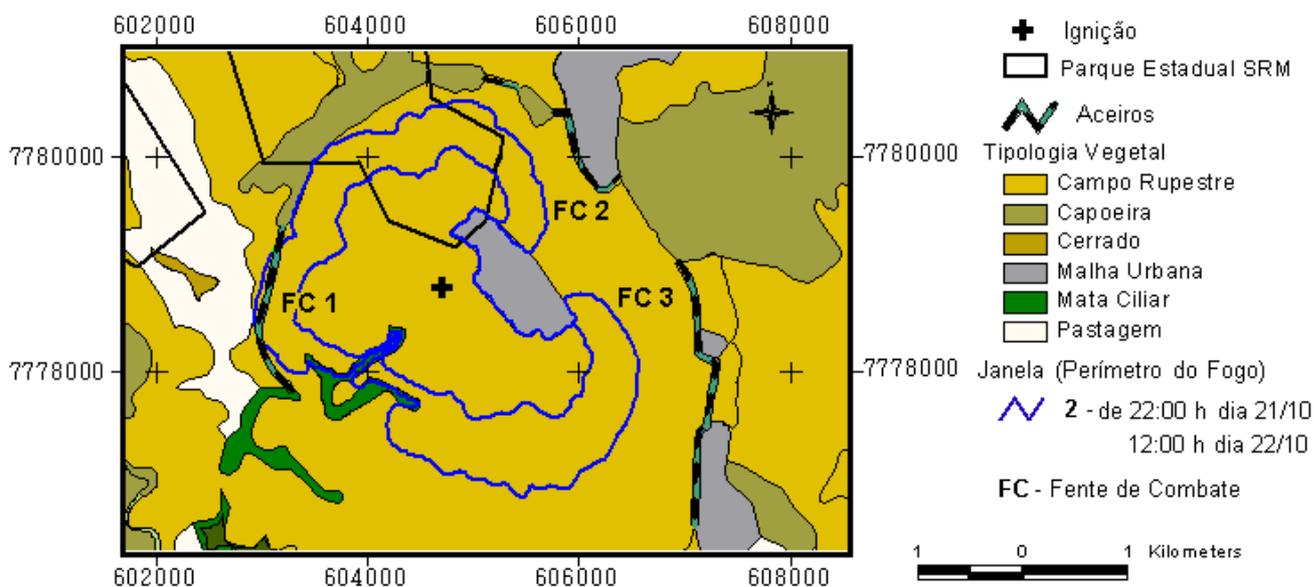


Figura 43: Localização dos aceiros em relação a tipologia vegetal e ao perímetro do incêndio.

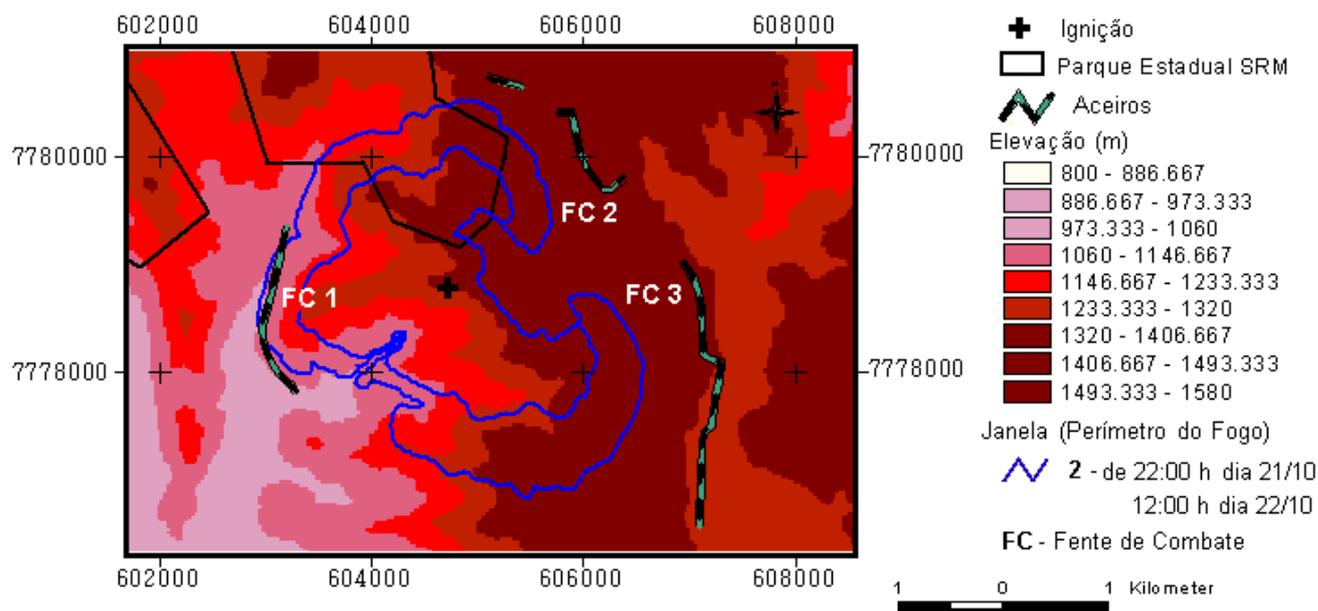


Figura 44: Localização dos aceiros em relação a elevação do terreno e ao perímetro do incêndio.

A extensão da linha de combate FC1, FC2 e FC3 pode ser observada na Tabela 24. Diante da extensão, dividiu-se os 120 bombeiros pela três áreas.

Tabela 24: Tamanho das equipes de combate.

Frente de Combate	Extensão da Frente (m)	Número de Combatentes	Média (m/ comb)
1	1.790,96	36	49,7
2	1.534,297	30	51,1
3	2.718,044	54	50,3
Total	6.043,301	120	50,3

As estratégias e o método de combate terrestre foram conjugados ao ataque aéreo e então simulado no FARSITE™. A evolução do combate assim como o formato da área queimada pode ser observado pela seqüência das Figuras 45 e 46.

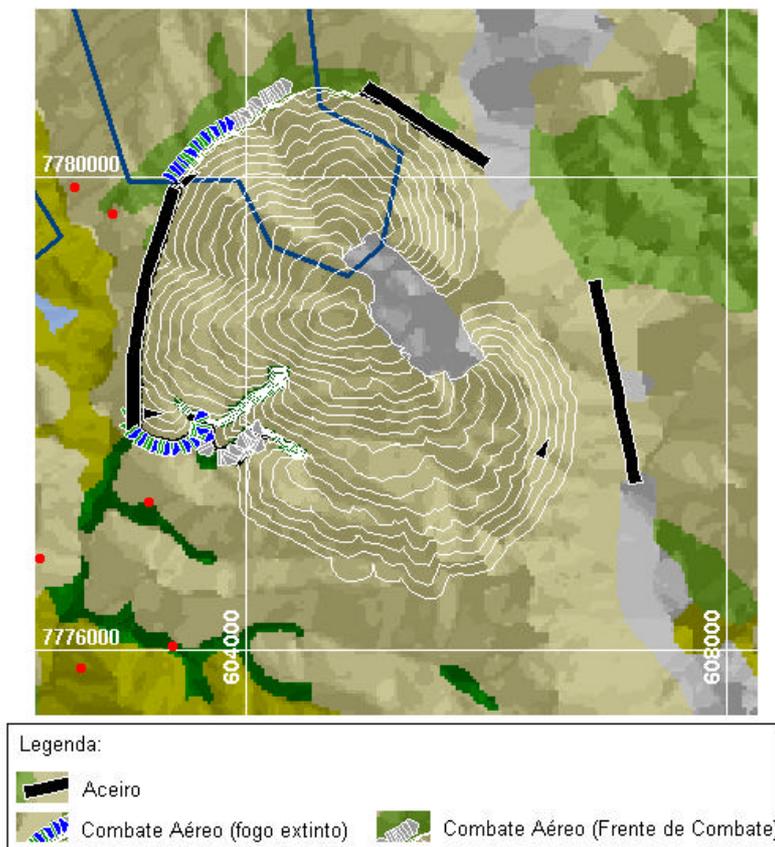


Figura 45: Resultado parcial da simulação de combate aéreo e terrestre no FARSITE™.

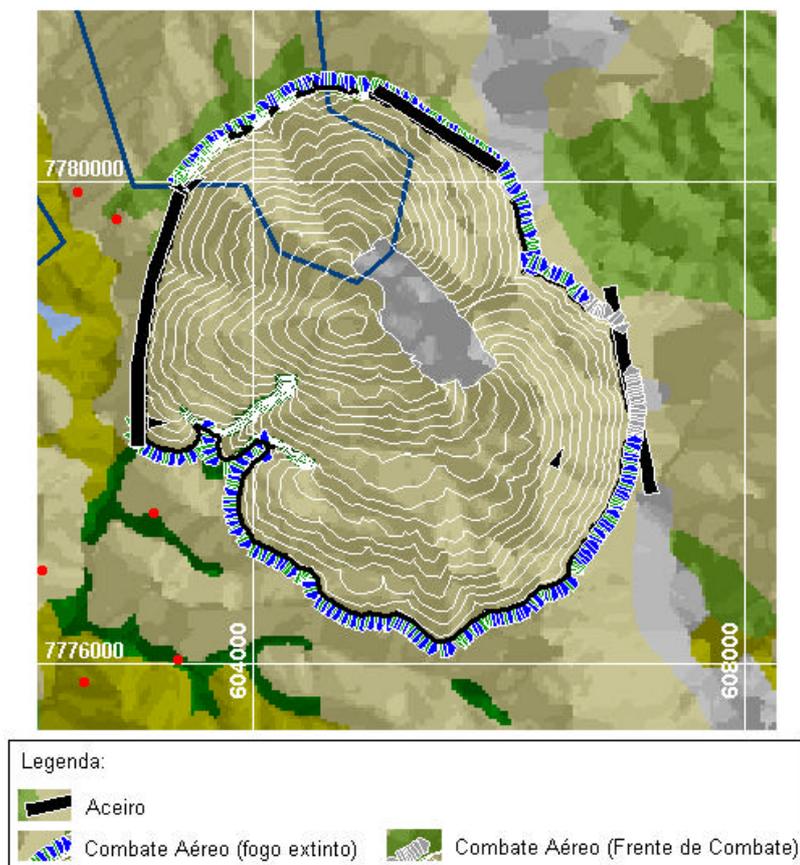


Figura 46: Resultado final da simulação de combate aéreo e terrestre no FARSITE™.

Com a simulação do combate, a área queimada foi de 1.223,00 ha, tendo o incêndio terminado as 14:00 h do dia 23/10.

Muitos fatores conhecidos afetam a produtividade da linha de combate do fogo. Tipo de combustível, tipo de solo, topografia, condições de trabalho, tamanho da equipe, equipamentos, fadiga e experiência da brigada são fatores de efeito comprovado no combate a um incêndio florestal (HIRSCH & MARTELL, 1996). Destes fatores, a maior variação na eficiência da linha de combate pode ser explicada a partir do tipo de combustível, do tamanho da equipe e equipamento.

A simulação no FARSITE™ parece restringir aos fatores produtividade da linha, tipo de combustível e topografia. Os dois primeiros são valores fornecidos pelo usuário, sendo que a topografia altera a produtividade da linha através do produto da produtividade horizontal e o co-seno da declividade.

Assim como o combate terrestre foi simplificado, o combate aéreo também o foi. Muitos fatores que afetam a aplicação e efetividade do ataque de ar, tais como a temperatura do ar, a velocidade e direção do vento, o ângulo de aproximação de aeronave, a altura de lançamento, a velocidade da aeronave e a taxa do fluxo do retardante dos tanques (GEORGE & JOHNSON, 1990) não são considerados explicitamente na simulação. A implementação do ataque de ar do FARSITE exige que o usuário só introduza informações específicas da aeronave (comprimento efetivo da linha de ataque através do nível de cobertura).

De uma maneira geral, a simulação do combate, terrestre e aéreo, se mostrou bastante simplista. Isto imprimiu na simulação de combate uma desconfiança da eficiência simulação do combate e do comportamento do fogo em contato com as frentes de combate. Além disso, a localização manual das equipes na paisagem criou uma dificuldade extra para a simulação de combate.

6. CONCLUSÃO

6.1. Considerações Gerais sobre o FARSITE™

O FARSITE™ tem muitas qualidades como programa de simulação do comportamento do incêndio. É um programa fácil de criar e editar os dados de entrada do sistema (cada arquivo possui um Editor Personalizado); são produzidos vários mapas, tabelas e gráficos que permitem entender e interpretar a evolução do incêndio; e a visualização da paisagem em três dimensões é um importante instrumento de treinamento das equipes de combate. Em contra-partida, seus usuários precisam ter

noções de sistemas de informações geográficas (SIGs) tanto para a elaboração dos temas matriciais quanto nas análises finais da simulação.

O uso operacional do FARSITE™ no Brasil, isto é, como forma de auxiliar a coordenação e as tomadas de decisões durante um incêndio, ainda depende de mais testes experimentais. As principais limitações são:

- a) as poucas experiências e relatos do uso do software;
- b) uma base de dados completa, atualizada e se possível, a partir de imagens de satélite, inventários de combustíveis e o monitoramento das condições climáticas.
- c) as pesquisas básicas, principalmente na caracterização dos materiais combustíveis dos biomas brasileiros, ainda insipientes.

Este trabalho constatou que o FARSITE™ é uma valiosa ferramenta também para o treinamento de brigadas e para a avaliação dos danos provocados pelos incêndios. Com os mapas, tabelas e gráficos produzidos, o FARSITE revela o padrão do comportamento do fogo, facilitando o entendimento dos fatores que o determinam. Este trabalho começou a mostrar todo o potencial desta ferramenta.

6.2. Considerações Específicas sobre a Simulação do Incêndio

A simulação do incêndio pelo FARSITE™ revelou o padrão de crescimento do incêndio em diferentes tipos de combustível e na topografia da região do Parque. Assim, o relevo montanhoso e a vegetação campestre se mostraram os principais fatores pelo aumento da taxa de propagação do fogo. O clima seco, com baixa umidade relativa e ventos fortes, foi o fator que determinou a duração do incêndio.

Considerando as 97 horas de duração do incêndio, o FARSITE™ reproduziu com muita exatidão a área queimada total. Com 1,26% de erro entre a área queimada simulada (3.443 ha) e a real (3.400 ha), os parâmetros do comportamento do fogo (taxa de propagação e comprimento de chama) estão refletindo que os valores arbitrados pela experiência pessoal do modelo de combustível e da umidade do combustível, estão bastante similares com os valores reais. Estes valores teriam maior precisão se fossem obtidos de inventários de material combustível ou se a literatura já os tivesse descritos.

O formato do incêndio simulado pelo FARSITE™ foi considerado satisfatório, visto que alcançou 76,8% de semelhança com o formato da área queimada projetada pelos satélites. Três aspectos poderiam aumentar esta precisão:

- a) a substituição do formato projetado dos satélites pela checagem do perímetro do incêndio no campo ou a classificação de imagens de satélites pós-incêndio;
- b) a utilização de um mapa temático de cobertura vegetal mais atualizado que o usado neste trabalho. O mapa de cobertura vegetal, elaborado a partir de imagens de satélite do ano de 1994, deve possuir algumas alterações principalmente na região sudeste do Parque, onde há uma grande expansão imobiliária. Isto impediria o avanço do incêndio simulado;
- c) os dados climáticos podem ter alterado o formato do incêndio, visto que foram coletados de apenas uma estação meteorológica distante em torno de 1 km da região do incêndio. Assim, o FARSITE™ considera o clima e o vento espacialmente uniformes para toda paisagem. A interpolação dos dados de duas estações ou um grid climático seria fundamental para o aumento da precisão.

Como ainda se tem muitas dúvidas sobre o manejo de ecossistemas em Unidades de Conservação, é difícil propor algum tipo de medida que altere a constituição das tipologias vegetais. Mas, para este trabalho, é claro que os incêndios florestais mantêm a paisagem mais campestre e arbustiva, sujeita até a invasão de espécies exóticas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AGEE, J. K. The Influence of Forest Structure on Fire Behavior. 17th Forest Vegetation Management Conference. p 52-70. 1996.
- ABOLT, R. A. Fire histories of upper elevation forests in the Gila Wilderness, New Mexico via fire scar and stand age structure analyses. Thesis, Masters of Science. University of Arizona, Tuscon, Arizona. 119 pages. 1997.
- ABRAHAMSON, W.G. Post-fire recovery of Florida Lake Wales Ridge vegetation. American Journal of Botany 71:9-21. 1984.
- ALBINI, F.A. Spot fire distance from burning trees- a predictive model. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-56. 1979.
- ALBINI, F.A. Wildland fire spread by radiation—A model including fuel cooling by natural convection. Combustion Science and Technology. 45: 101– 113, 1986.
- ALBINI, F.A. & REINHARDT, E.D. Modeling the ignition and burning rate of large woody natural fuels. Intl. J. Wildl. Fire. 5(2):81-92. 1995.
- ALBRIGHT, D. & MEISNER B. N. Classification of Fire Simulation Systems. Fire Management notes, Volume 59, Nº. 2, p 05-12, United States Department of Agriculture - Forest Service. Spring 1999.
- ALONSO F. G. Detección Remota de Incendios Forestales. IX Silvotecna “Incendios Forestales”, Panel 4: “Tecnología Aplicada y la Proteccion Contra Incendios”, 6 p. Chile, 16-18 de novembro 1997, Corporacion Chilena de la Madeira, 1997.
- ANDERSON, D.G, CATCHPOLE, E.A. DEMESTRE, N.J. & PARKES, T. Modeling the spread of grass fires. J. Austral. Math. Soc. (Ser. B.) 23:451-466. 1982.
- ANDERSON, H.E. Predicting wind-driven wildland fire size and shape. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-305. 1983.
- ANDREWS, P.L. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system- BURN subsystem, Part 1. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-194. 1986.
- ANDREWS, P.L. Application of fire growth simulation models in fire management. Proc. 10th Conf. Fire and Forest Meteorology, Ottawa Canada. pp 317-321. 1989.
- ANDREWS, P. L. & CHASE, C. H. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system—BURN subsystem, Part 2. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-260. 93 p. 1989.
- ANTUNES, M. A. H., RIBEIRO, J. C. Uso de Satélites para Detecção de Queimadas e para Avaliação do Risco de Fogo. Revista Ação Ambiental, ano II, num 12, Junho/Julho, p 24-27, 2000.

- ARANHA, J. T. M. & GONÇALVES, G. Criação de um Índice de Perigo de Incêndio para o Vale do Alto Tâmega. Trabalho apresentado no VI Encontro dos Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG 2001). 28 a 30 de Novembro de 2001. Tagus Park - Porto Salvo – Oeiras Portugal.. 14 p. 2001.
- ARONOFF, S. Geographical information systems: a management perspective. Ottawa: WDI Publications, 1989.
- BALL, G.L. & GUERTIN, D.P. Improved fire growth modeling. Intl. J. Wildl. Fire 2(2):47-54. 1992.
- BATISTA, A. C. Modelos de Estimativa do Comportamento do Fogo. 1º Seminário Sul-americano sobre Controle de Incêndios Florestais. Anais... Belo Horizonte, p. 231-251, 1998.
- BECK, J.A. & TREVITT, C.F. Forecasting diurnal variations in meteorological parameters for predicting fire behavior. Can. J. For. Res. 19:791-797. 1989.
- BEER, T. The Australian National Bushfire Model Project. Math. Comp. Mod. 13(12):49-56. 1990.
- BOUCHER, P.F.& MOODY, R.M. The historical role of fire and ecosystem management of fires: Gila National Forest, New Mexico. Tall Timbers Fire Ecology Conference 20: 374-379, 1998.
- BOTELHO, H.; REGO, F.C.; VAREJÃO, E. & FERNANDES, P. Caracterização de combustíveis florestais: sua utilização na previsão do comportamento do fogo. Junta Nacional de Investigação Científica –JNICT, 11p, 1989.
- BOTELHO, H. & VENTURA, J. Modelos de comportamento do fogo. In: REGO, F.C. & BOTELHO, H. A técnica do fogo controlado. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, p. 49-55, 1990.
- BRADSHAW, L.S, DEEMING, J.E., BURGAN, R.E., & COHEN, J.D. The 1978 National Fire-Danger rating system. Technical Documentation. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-169. 1984.
- BROWN, A. A. & DAVIS, K.P. Forest fire – Control and use. New York, Mc Graw Hill, 2nd Ed., 686 p, 1973.
- BURGAN, R. E. & ROTHERMAL, R. C. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system—FUEL subsystem. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-167. 126 p, 1984.
- BURGAN, R.E. Concepts and interpreted examples in advanced fuel modeling. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-238. 1987.

- BYRAM. Chapter Three, Combustion of Forest Fuels. in Davis, .K.P., Forest Fire: Control and Use. McGraw-Hill. New York. 1959.
- CAHOON, D. R., STOCKS, B. J., LEVINE, J. S., WESLEY, R. C., PIERSON, J. M. Satellite analysis of the severe 1987 forest fires in northern China and southeastern Siberia. Journal of Geophysical Research, vol 99, NO. D9, pp 18.627-18.638, 1994.
- CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. Mapas e suas representações computacionais. In Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura. Capítulo 2, p13-29, 2ª Edição, EMBRAPA, Brasília, 434 p, il. 1998.
- CAMPBELL, J., WEINSTEIN, D. & FINNEY, M. A. Forest fire behavior modeling integrating GIS and BEHAVE. In: Thompson, J.E. (Compiler): Analysis in support of ecosystem management. USDA Forest Service Ecosystem Management Center Report. Washington D.C. Pages 184-192, 1995.
- CHEN S-C, ROADS JO & JUANG H-MH. Mesoscale fire weather studies. In. "Proceedings, Second Conference on Fire and Forest Meteorology", Phoenix, AZ, pp. 134-135. American Meteorological Society: Boston, MA, 1998.
- CLARKE, K.C.; OLSEN, G. & BRASS, J.A. Refining a cellular automaton model of wildfire propagation and extinction. In: Proceedings of the Second International Conference/Workshop on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling; 1993 September 26–30; Breckenridge, CO. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis. 1993.
- CLARKE, K.C., BRASS, J.A. & RIGGAN, P.J. A cellular automaton model of wildfire propagation and extinction. Photogrammetric Eng. and Remote Sensing 60(11):1355-1367. 1994.
- COUTINHO, L. M. As Queimadas e o seu papel ecológico. Brasil Florestal, ano 10, num 44, outubro/dezembro, p 7-23, 1980.
- COUTO, E.A. & CANDIDO, J.F. Incêndios Florestais. Universidade Federal de Viçosa, 101p, 1980.
- COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.54, p.1551-1554, 1988.
- CRUTZEN, P.J., ANDREAE, M.O., Biomass burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical cycles. Science, vol 250, pp 1.669-1.678, 1990.
- DEEMING, J.E., BURGAN, R.E. & COHEN, J.D. The National Fire-Danger Rating System-178. USDA For. Serv. Gen Tech. Rep. INT-39. 1977.

- DORRER, G.A. Modelling forest fire spreading and suppression on basis of Hamilton mechanics methods. in G.A. Dorrer (ed). Scientific Siberian A: special issue Forest Fires Modelling and Simulation. pp 97-116. 1993.
- DUARTE, H.H. Los Incendios Forestales em Chile. In Workshop Incêndios Florestais – Ações da iniciativa privada e do setor público. Belo Horizonte, Minas Gerais, 11 e 12 de maio de 2000. CEMIG, 2000.
- DUNCAN, B.W.; LARSON, V.L. & SCHMALZER, P.A. Modeling Historic Landcover: An Evaluation of Two Methodologies for Producing Base Line Reference Data. Natural Areas Journal 20: 308-316, 2000.
- DUNCAN, B.W. & SCHMALZER, P.A. Modeling past and present fire behavior on Kennedy Space Center, Florida. Proceedings of the Twenty-First Annual ESRI User Conference, 2001 San Diego, CA, 2001.
- DUNCAN, B.W.; LARSON, V.L. & SCHMALZER, P.A. Historic landcover and recent landscape change in the north Indian River Lagoon watershed, Florida. Submitted to Natural Areas Journal. 2001.
- ENGLEFIELD, P.; LEE, B. & SUDDABY, R. Spatial Fire Management System Proceedings of the Twentieth Annual ESRI User Conference, 2000, San Diego, California, U.S. 2000
- FAO, Global wildland fire statistics, 1981-1990. MISC/ 92/ 4. Forestry Department. Roma, 1992.
- FERNANDES, A. E., GLERIANI, J. M. & ASSIS, E. F. Integração do IVDN Gerado a partir do AVHRR/ NOAA e Dados de Umidade como Indicadores de Áreas Potenciais ao Fogo no Cerrado Brasileiro. 1º Seminário Sul-americano sobre Controle de Incêndios Florestais, de 29 de junho a 12 de julho de 1998, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. SIF, 1998.
- FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). Scientia Forestalis, n. 53, p. 39-48, jun. 1998.
- FINNEY, M.A. Modeling the spread and behavior of prescribed natural fires. Proc. 12th Conf. Fire and Forest Meteorology, pp138-143. 1994.
- FINNEY, M. A. & ANDREWS P. L. The FARSITE fire area simulator: Fire management applications and lessons of summer 1994. Paper presented at the Interior West Fire Council Meeting and Symposium, Coeur d'Alene. ID. November 1-2. 1994.

- FINNEY, M.A. & RYAN, K.C. Use of the FARSITE fire growth model for fire prediction in US National Parks. Proc. The International Emergency Mgt. and Engineering Conf. May 1995 Sofia Antipolis, France. pp 186- 1995.
- FINNEY, M.A. FARSITE: Fire Area Simulator—Model Development and Evaluation. USDA For. Serv. Res. Pap. RMRS-RP-4. 1998.
- FINNEY, M. A. & ANDREWS, P. L. FARSITE - A Program for Fire Growth Simulation. Fire Management notes, Volume 59, N^o. 2, p 13-15, United States Department of Agriculture - Forest Service. Spring 1999.
- FORESTRY CANADA FIRE DANGER GROUP. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Inf. Rep. ST-X-3. Ottawa, Canada: Forestry Canada Science and Sustainable Development Directorate. 63 p., 1992.
- FRENCH, I.A., ANDERSON, D.H., & CATCHPOLE, E.A. Graphical simulation of bushfire spread. Math. Comput. Model. 13(12):67-71. 1990.
- FRENCH, I.A. Visualisation techniques for the computer simulation of bushfires in two dimensions. M.S. Thesis University of New South Wales, Australian Defence Force Academy, 140 pages. 1992.
- FUJIOKA, F. M. A new method for the analysis of fire spread modeling errors. CSIRO Publishing - International Journal of Wildland Fire, Volume 11, p. 193-203, 2002.
- GEORGE, C.W. & JOHNSON, G.M. Determining aair tanker performance guidelines. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-268. 1990.
- GONZALES, J., & MAUS, P. Vegetation classification and old growth modeling in the Jemez Mountains. Pages 51- 63. Proceedings of the fourth Forest Service remote sensing applications conference — Remote sensing and natural resource management. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, MD. 456 pages, 1992.
- GREEN, D.G. Shapes of simulated fires in discrete fuels. Ecol. Mod. 20:21-32, 1983.
- GRUPE, M. A. Assessing the applicability of the Terrestrial Ecosystem Survey for FARSITE. Master's Thesis, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, 95 pages, 1998.
- HARGROVE, W.W.; GARDNER, R.H.; TURNER, M.G.; ROMME, W.H. & DESPAIN, D.G. Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes. Unpublished draft provided by principal author. 42 p., 1993.
- HARRINGTON, M.G. Estimating ponderosa pine fuel moisture using National Fire-Danger Rating Moisture values. USDA For. Serv. Res. Pap RM-233, 1982.

- HAWKES, B. El Sistema Canadiense de Evaluacion Del Grado de Peligro de Incêndios Forestales: uma vision general. Actas del Taller Internacional “Prognosis y Gestion en Control de Incendios Forestales” , p. 82-94, Santiago, 1995.
- HAY, C.M. Use of GIS in fire spread modeling - The DYNAFIRE model. Presentation at conference: Resource Analysis in an Electronic Age; May 12–14; Tacoma, WA. 1 p., 1991.
- HIRSCH, K.G. & MARTELL, D.L. A review of initial attack fire crew productivity and effectiveness. Intl. J. Wildl. Fire 6(4):199-215, 1996.
- IEF, <http://www.ief.mg.gov.br/parques/rolamoca/rolamoca.htm>. Outubro, 2003.
- INPE, <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>, Outubro, 2003.
- KALABOKIDIS, K.D.; HAY, C.M. & HUSSIN, Y.A. Spatially resolved fire growth simulation. In: Andrews, P.L.; Potts, D.F., eds. Proceedings of the 11th Conference on Fire and Forest Meteorology; 1991 April 16–19; Missoula, MT. Washington, DC: Society of American Foresters: 188– 195, 1991.
- KEANE, R.E., GARNER, J. L., SCHMIDT, K. M., LONG, D. G., MENAKIS, J. P. & FINNEY, M. A. Development of the Input Data Layers for the FARSITE Fire Growth Model for the Selway-Bitterroot Wilderness Complex, USA. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-3. 121 pages, 1998.
- KEANE, R. E.; MINCEMOYER, S. A.; SCHMIDT, K. M.; LONG, D. G. & GARNER, J. L. Mapping vegetation and fuels for fire management on the Gila National Forest Complex, New Mexico. [CD-ROM]. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-46-CD. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 126 p. 2000.
- KLAVER, J. M., KLAVER, R. W. & BURGAN, R. E. Using GIS to Assess Forest Fire Hazard in the Mediterranean Region of the United States. <http://gis.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to300/pap286/p286.htm>, 2.000.
- KNIGHT, I. & COLEMAN, J. A fire perimeter expansion algorithm based on Huygen's wavelet propagation. Intl. J. Wildl. Fire 3(2):73-84, 1993.
- KOMAREK, E. V. Proc. Tall Timbers Fire Ecology Conf. 11:473, 1972.
- KOURTZ, P. & O'REAGAN, W.G. A model for a small forest fire.. to simulate burned and burning areas for use in a detection model. For. Sci. 17(2):163-169, 1971.
- KOURTZ, P., NOZAKI, S. & O'REAGAN, W.G. Forest fires in the computer- A model to predict the perimeter location of a forest fire. Fisheries and Environment Canada. Inf. Rep. FF-X-65, 1977.

- KOURTZ, P.H. Decision-making for centralized forest fire management. Forestry Chronicle 60: 320-327. 1984.
- LEE, B. S., HAWKES, B.C, LYNHAM, T. & STOCKS, B. J. Canadian Forest Fire Information Systems. 2^o International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Lake Buena Vista, Florida, 10-12 January 2000.
- MACKAY, G. & JAN, N. Forest fires as critical phenomena. Journal of Physics, A: Mathematical and General, 17: 757– 760, 1984.
- McALPINE, R.S. & WAKIMOTO, R.H. The acceleration of fire from point source to equilibrium spread. For. Sci. 37(5):1314-1337, 1991.
- McARTHUR, A.G. Weather and grassland fire behaviour. For. and Tim. Bur. Leaflet. 100. Canberra, Australia: Department of National Development, 23 p, 1966.
- MILLER, W. & JOHNSTON, D. Comparison of fire fuel maps produced using MSS and AVHRR data. Pecora X symposium. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia. Pages 305-314, 1985.
- MILLINGTON, A.C., CRITCHLEY, R.W., DOUGLAS, T.D. & RYAN, P. Estimating woody biomass in sub-Saharan Africa. The World Bank, Washington, DC. 191 pages, 1994.
- MUTCH, R. W., ARNO, S. F., BROWN, J. K., CARLSON, C. E., OTTMAR, R. D. & PETERSON J. L. Forest health in the Blue Mountains: A management strategy for fire-adapted ecosystems. USDA Forest Service General Technical Report PNW-GTR-310. 14 pages, 1993.
- MYERS, R.L. & WHITE, D.L. Landscape history and changes in sandhill vegetation in North-Central and South-Central Florida. Bulletin of the Torrey Botanical Club 114:21-32. 1987.
- MYERS, R.L. Scrub and high pine. Pp. 150-193 in MYERS, R.L. & EWEL, J.J. eds. Ecosystems of Florida. University of Central Florida Press, Orlando. 765 pp. 1990.
- NELSON, R.M. Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content. Can J. For Res. 30:1071-1087, 2000.
- NOBLE, I.R.; BARY, G.A.V. & GILL, A.M. McArthur's fire-danger meters expressed as equations. Australian Journal of Ecology 5: 201–203, 1980.
- OHTSUKI, T. & KEYES, T. Biased percolation: Forest fires with wind. Journal of Physics, A: Mathematical and General. 19: 281-287, 1986.
- RICHARDS, G.D. An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solution. Int. J. Numer. Meth. Eng. 30:1163-1179, 1990.

- RICHARDS, G.D. A general mathematical framework for modeling two-dimensional wildland fire spread. Int. J. Wildl. Fire. 5(2):63-72, 1995.
- ROBERTS, D., GARDNER, M., REGELBRUGGE, J., PEDREROS, D., & USTIN, S. Mapping the distribution of wildfire fuels using AVIRIS in the Santa Monica Mountains. [http:// cstars.ucdavis.edu/nasa-essp/smm-fires/paper.html](http://cstars.ucdavis.edu/nasa-essp/smm-fires/paper.html). 6 pages, 1998.
- ROUSSOPOLOS, P.J. & JOHNSON, V.J. Help making management decisions. Res. Pap. NC – 112. St. Paul, USDA Forest Service, North Central For. Exp Sta, 16 p, 1979.
- ROTHERMEL, R.C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-115, 1972.
- ROTHERMEL, R.C. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-143, 1983.
- ROTHERMEL, R.C. & RINEHART, G.C. Field procedures for verification and adjustment of fire behavior predictions. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-142, 1983.
- ROTHERMEL, R.C., WILSON, R.A., MORRIS, G.A., & SACKETT, S.S. Modeling moisture content of fine dead wildland fuels input to the BEHAVE fire prediction system. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-359, 1986.
- ROTHERMEL, R.C. Predicting behavior and size of crown fires in the northern Rocky Mountains. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-438, 1991.
- SALAZAR, L. A. Fire Managers Need GIS Applications. In: Fire Management Notes. Washington, USDA Forest Service, vol 55, nº 2, p 12-17, 1995.
- SANDERLIN, J.C. & SUNDERSON, J.M. A simulation for wildland fire management planning support (FIREMAN): Volume II. Prototype models for FIREMAN (PART II): Campaign Fire Evaluation. Mission Research Corp. Contract No. 231-343, Spec. 222. 249 pages, 1975.
- SANDERLIN, J.C. & VAN GELDER, R. J. A simulation of fire behavior and suppression effectiveness for operation support in wildland fire amangement. In: Proc. 1st Int. Conv. on mathematical modeling, St. Louis, MO. pp 619-630, 1977.
- SHIMABUKURO, Y. E., KRUG, T., SANTOS, J. R., NOVO, E. M., YL, J. L. R. Roraima: o incêndio visto do espaço. Revista Ciência Hoje, vol 27, num 157, pp 32 – 34, 2000.
- SOARES, R.V. The use of prescribed fire in forest management in the State of Paraná, Brasil. USA, Tese. 203 p, 1977.

- SOARES, R.V. Prevenção e controle de incêndios florestais. Curitiba, FUPEF, 69 p., 1982.
- SPATIAL INFORMATION SYSTEMS, INC. pMAP - A software system for analysis of spatial information. Spatial Information Systems, 12359 Franklin Street, Omaha, NE 68154 (tel. 402-493-8039), 1986.
- STAUFFER, D. Introduction to percolation theory. London: Taylor & Francis. 124 p. 1985.
- STEWART, O. C. Geographical Rev. 41:317, 1951.
- STEWART, O. C. Man's Role in Changing the Face of the Earth. The University of Chicago Press, Chicago, p 115, 1956.
- STOCKS, B. J., CAHOON, D. R., KOROVIN G. N., SUKHININ, A. I., GOLDAMMER, J. G., Monitoring and Documenting Forest Activity in Russian Boreal Forests. The Second International Wildland Fire Conference, 25 a 30 de maio de 1997, Canada, 1997.
- SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT (SEM). FARSITE Home Page. www.montana.com/sem/public_html/farsite.html. 2001.
- TODD, J. B., LEE, B. S., SUDDABY, R. M. Sistema Espacial del Manejo del Fuego. IX Silvotecnica "Incendios Forestales" - Panel 4: "Tecnologia Aplicada y la Proteccion Contra Incendios", 22 p., Chile, 16-18 de novembro 1997, Corporacion Chilena de la Madeira, 1997.
- VAN WAGNER, C.E. Conditions for the start and spread of crown fire. Canadian Journal of Forest Research. 7: 23–24. 1977.
- VAN WAGNER, C.E. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry Technical Report 35. Canadian Forestry Service, Ottawa, Ontario. 1987.
- VAN WAGNER, C.E. Prediction of crown fire behaviour in conifer stands. In: MacIver, D.C, H. Auld, and R. Whitewood eds., proc. 10th conf. on fire and forest meteorology. Ottawa, Canada. 1989.
- VAN WAGNER, C.E. Prediction of crown fire behavior in two stands of jack pine. Canadian Journal of Forest Research. 23: 442–449. 1993.
- VAN WAGNER, C. E. Forest Fire Research – handsight and foresight. In Proc. Symp. Wildland Fire 2000. USDA For. Serv., California, PSW-101, p. 115-120. 2000.
- VETTORAZZI, C. A. & FERRAZ, S. F. B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. Série Técnica IPEF, v. 12, n. 32, p. 111-115, dez. 1998.

- VETTORAZZI, C. A. & FERRAZ, S. F. B. Análise do Risco, por Meio de Técnicas de Geoprocessamento, para Planejamento da Prevenção e Controle de Incêndios. 2º Simpósio Latino-americano de Controle de Incêndios Florestais. 14-16 de agosto de 2001, Piracicaba, São Paulo, IPEF, 2001.
- VIEGAS, D. X. Fire Danger Rating Indexes in Southern Europe. 1º Seminário Sul-americano sobre Controle de Incêndios Florestais. Anais... Belo Horizonte, p. 231-251, 1998.
- WAGTENDONK, J. W. V. Use of a Deterministic Fire Growth Model to Test Fuel Treatments. Sierra Nevada Ecosystem Project: Final report to Congress, vol. II, Assessments and scientific basis for management options. Davis: University of California, Centers for Water and Wildland Resources, 1996.
- WALLACE, G. A numerical fire simulation mode. Intl. J. Wildl. Fire 3(2):111-116, 1993.
- WALTER, H. Aquilo ser. Botânica, 6:113, 1967.
- WEINSTEIN, D., GREEN, K., CAMPBELL, J. & FINNEY, M. Fire Growth Modeling in an Integrated GIS Environment. Fifteenth Annual ESRI User Conference, Palm Springs, California. 22-26 May 1995.
- WIEGAND, C. L., RICHARDSON, A. J., ESCOBAR, D. E. & GERBERMANN. Vegetation indices in crop assessment. Remote Sensing of Environment. 35(2): 105-109, 1991.
- WIITALA, M.R. & CARLTON, D.W. Assessing long term fire movement risk in wilderness fire management. In: Proceedings, 12th Conf. on Fire and Forest Meteorology; 1993 October 26-28; Jekyll Island, GA. Soc. Am. For. pp 187-194, 1994.
- WILSON, R. Reformulation of forest fire spread equations in SI units. USDA For. Serv. Res. Note INT-292. 1980.
- WILSON, B.A., OW, C.F.Y., HEATHCOTT, M, MILNE, D., MCCAFFREY, T.M., GHITTER, G. & FRANKLIN, S.E. Landsat MSS classification of fire fuel types in Wood Buffalo National Park. Global Ecology and Biogeography Letters 4:33-39, 1994.
- YOOL, S.R.; ECKHARDT, D.W.; ESTES, J.E. & COSENTINO, M.J. Describing the brushfire hazard in Southern California. Ann. Assoc. American Geogr. 75: 417-430. 1985.

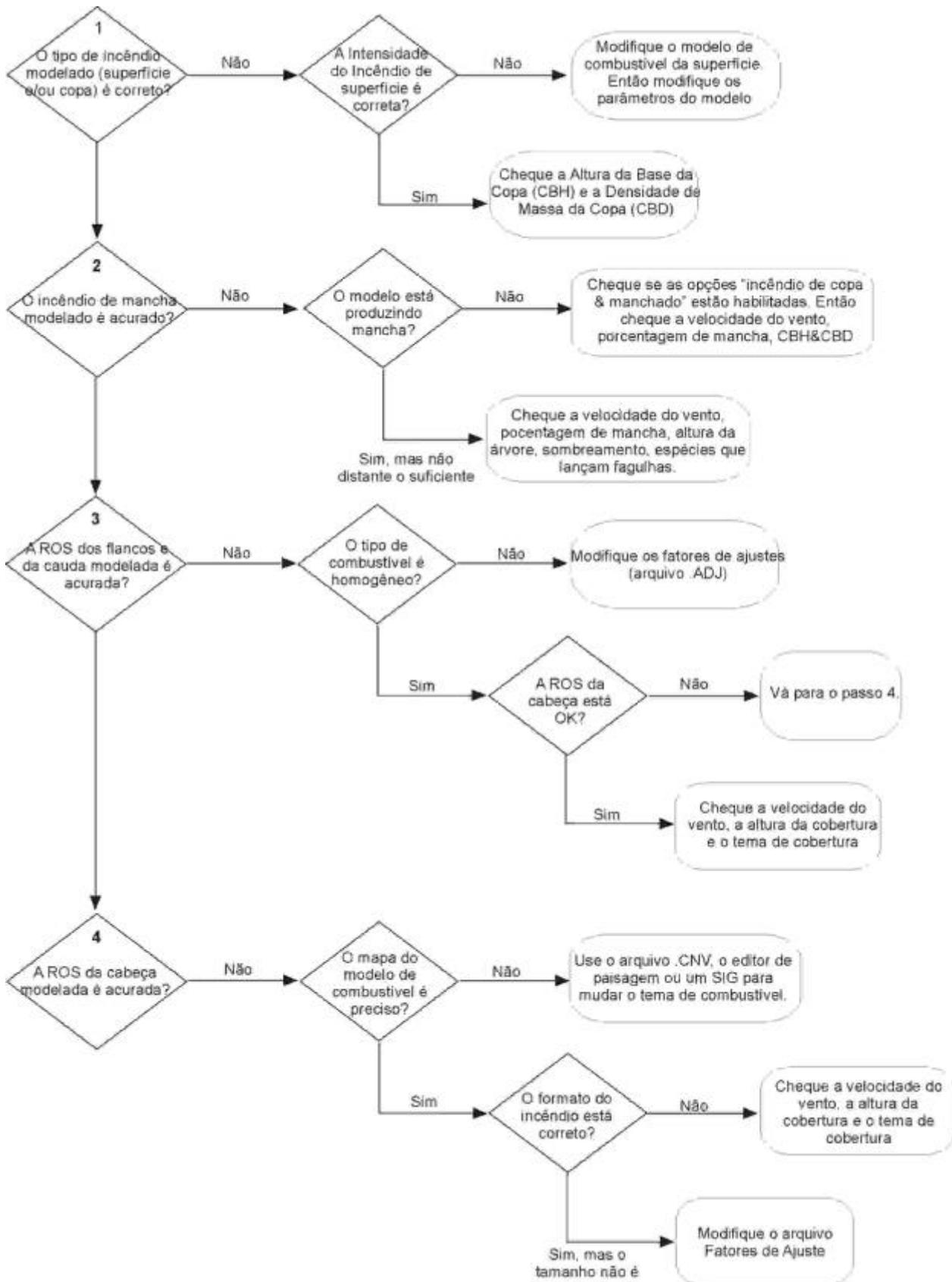
9. ANEXOS

Anexo 1: Descrição resumida dos sistemas de simulação do incêndio.

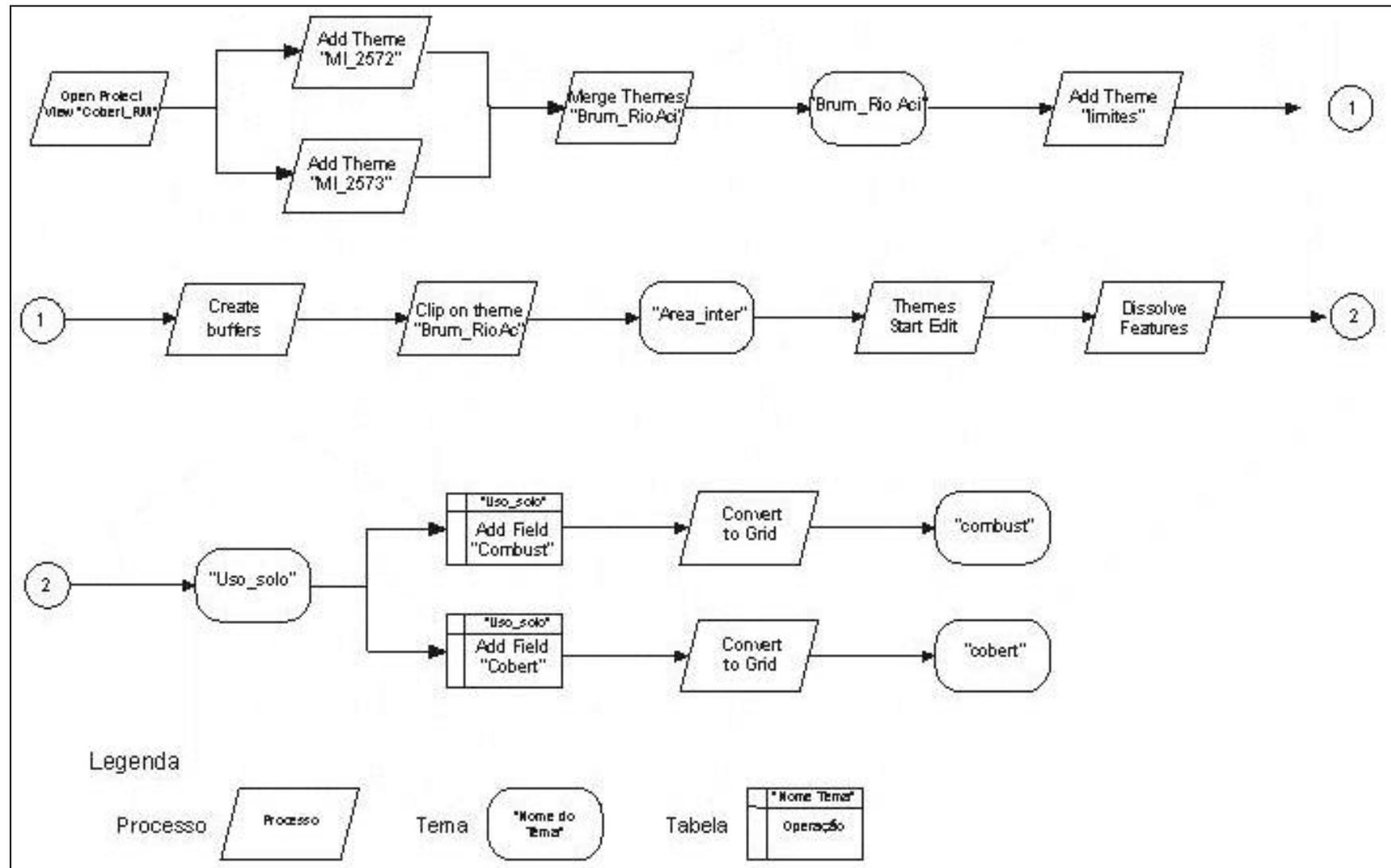
Sistemas de Simulação	Componentes		Intenção de Uso	Dados de Entrada		Produtos de Saída	Plataforma e Software
	Modelo de Predição	Técnica de Simulação		SIG	Adicional		
Sistema Clarke (Clarke et al. 1993)	Probabilístico	Automato Celular	Simular risco incêndio e avaliar padrões de queima	<ul style="list-style-type: none"> Vegetação Elevação Umid. Comb. 	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura Umidade Rel. Vel. do Vento Direção Vento 	Mapa de risco de incêndio (30 m) resol.	UNIX workstation with C compiler and Xwindows interface
DYNAFIRE (Kalabokidis et al., 1991; Hay, 1991)	Físico-Estatístico (BEHAVE)	Automato Celular	Simular a propagação de incêndios de superfície de baixa a média intensidade	<ul style="list-style-type: none"> Comb. padrão Elevação Declividade Aspecto Stream network 	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura Umidade Rel. Vel. do Vento Direção Vento Umid. Comb. 	Mapas de: <ul style="list-style-type: none"> Perímetro Intensidade Taxa prop. 	PC com MS-DOS e pMAP
EMBYR (Hargrove et al., 1995)	Probabilístico	Bond Percolation	Simular risco incêndio e padrões queima	<ul style="list-style-type: none"> Classificação vegetação por espécies e idade 	<ul style="list-style-type: none"> Vel. do Vento Direção Vento Umid. Comb. 	Mapa padrão final da queima (50 m) resol.	workstation UNIX com FORTRAN
FARSITE (Finney, 1994)	Físico-Estatístico (BEHAVE)	Propagação de Ondas Elípticas	Simular a propagação e comportamento incêndios florestais	<ul style="list-style-type: none"> Comb. padrão personalizado Elevação Declividade Aspecto Cobertura 	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura Umidade Rel. Vel. do Vento Direção Vento Cobertura 	Mapas de: <ul style="list-style-type: none"> Comport. Perímetro 	PC com Win 3.1 ou superior
FIREMAP (Ball & Guertin, 1992)	Físico-Estatístico (BEHAVE)	Automato Celular	Simular a propagação de incêndios de superfície de baixa a média intensidade	<ul style="list-style-type: none"> Comb. padrão Elevação Declividade Aspecto 	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura Umidade Rel. Vel. do Vento Direção Vento Umid. Comb. 	Mapas de: <ul style="list-style-type: none"> Taxa prop. Intensidade Compr. Chama Energia/ area Intensid. Reaç. 	workstation UNIX com PROMAP
WILDFIRE (Wallace 1993)	Físico-Estatístico (FBP)	Propagação de Ondas Elípticas	Simular a propagação de incêndios de superfície de baixa a média intensidade	<ul style="list-style-type: none"> Comb. padrão Elevação 	<ul style="list-style-type: none"> Vel. do Vento Direção Vento 	Mapas de: <ul style="list-style-type: none"> Perímetro Intensidade (1 m) resol.	PC com MS-DOS

Fonte: Adaptado de ALBRIGHT & MEISNER, 1999.

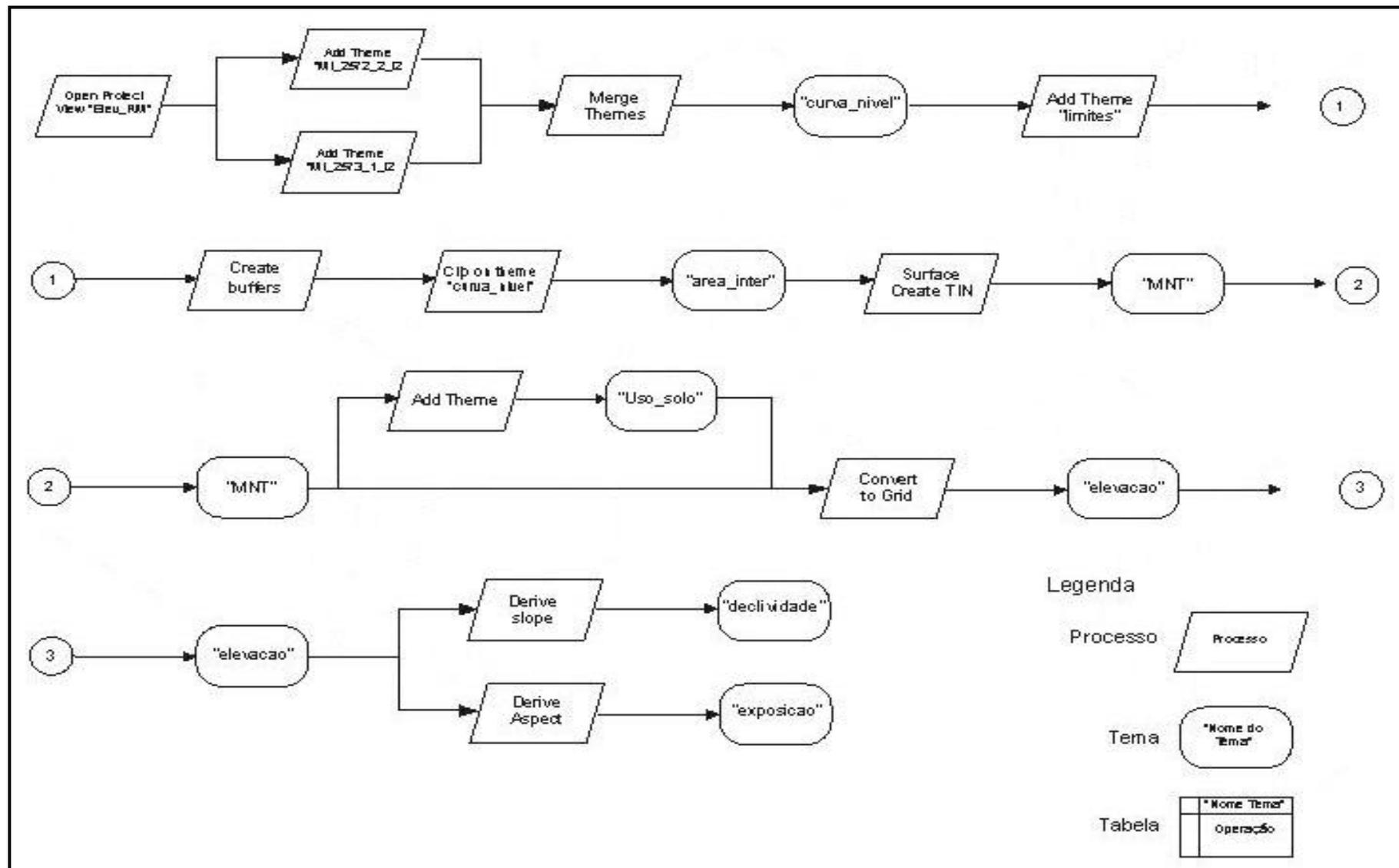
Anexo 2: Fluxograma de Calibração da simulação do FARSITE™.



Anexo 3: Fluxograma de Operações realizadas no software ArcView® para a derivação dos temas matriciais “cobertura” e “combustível” do P. E. Serra do Rola-Moça.



Anexo 4: Fluxograma de Operações realizadas no software ArcView® para a derivação dos temas matriciais “elevacao”, “declividade” e “exposicao” do Parque Estadual Serra do Rola-Moça.



Anexo 5: Tabela de Dados do Clima da estação Meteorológica de Belo Horizonte. Fonte: Plataforma de Coleta de Dados.

Belo Horizonte												
DATA (mm/dd/aaaa)	HORA (GMT)	Pluvio (mm)	TempAr (°C)	TempMax (°C)	TempMin (°C)	UmidRel (%)	VelVento3m (m/s)	DirVento (°NV)	VelVentoMax (m/s)	DirVelVentoMax (°NV)	RadSolAcum (MJ/m ²)	CorrPSol (Igc)
07/19/2003	00:00:00	0.00	17.0	24.0	12.0	64	0.0	120	2.5	140	0.00	0
07/19/2003	03:00:00	0.00	15.5	24.0	12.0	68	0.0	150	3.2	130	0.00	0
07/19/2003	06:00:00	0.00	14.0	24.0	12.0	74	0.0	130	----	120	0.00	0
07/19/2003	09:00:00	0.00	13.0	----	----	79	0.0	130	----	----	0.00	----
07/19/2003	12:00:00	0.00	17.5	24.0	13.0	67	0.9	110	4.0	150	1.80	1
07/19/2003	15:00:00	0.00	23.5	----	----	43	0.3	50	----	----	6.40	----
07/19/2003	18:00:00	0.00	24.5	24.5	13.0	38	0.2	80	3.5	60	6.20	0
07/19/2003	21:00:00	0.00	20.5	----	----	53	0.0	90	----	----	1.60	----
10/20/2003	00:00:00	13.75	25.0	33.0	18.5	36	0.0	120	4.8	130	0.00	0
10/20/2003	03:00:00	13.75	23.5	33.0	18.5	33	0.0	120	3.6	130	0.00	0
10/20/2003	06:00:00	13.75	22.5	33.0	18.5	35	0.0	130	1.8	110	0.00	0
10/20/2003	09:00:00	13.75	20.0	33.0	19.5	46	0.0	140	0.8	120	0.00	1
10/20/2003	12:00:00	13.75	26.5	33.0	20.0	31	0.0	140	5.0	130	4.10	1
10/20/2003	15:00:00	13.75	31.5	33.0	20.0	22	0.0	30	1.4	90	9.20	1
10/20/2003	18:00:00	13.75	33.0	34.0	20.0	16	0.0	350	3.5	10	7.20	1
10/20/2003	21:00:00	13.75	29.5	34.0	20.0	26	0.5	120	3.7	140	1.80	0
10/21/2003	00:00:00	13.75	26.5	34.0	20.0	34	0.0	130	6.0	130	0.00	0
10/21/2003	03:00:00	13.75	24.5	34.0	20.0	35	0.0	140	3.6	120	0.00	0
10/21/2003	06:00:00	13.75	24.0	34.0	20.0	36	0.0	140	4.0	140	0.00	0
10/21/2003	09:00:00	13.75	22.5	34.0	20.0	39	0.0	110	3.1	140	0.10	1
10/21/2003	12:00:00	13.75	27.0	34.0	22.5	30	0.0	140	2.9	160	3.20	1
10/21/2003	15:00:00	13.75	33.0	34.0	22.5	19	0.0	10	3.3	30	9.00	1
10/21/2003	18:00:00	13.75	34.5	35.5	22.5	16	0.2	10	5.1	30	7.90	1
10/21/2003	21:00:00	13.75	30.5	35.5	22.5	23	0.0	120	3.8	30	1.90	0
10/22/2003	00:00:00	13.75	27.0	35.5	22.5	31	0.1	120	4.0	130	0.00	0
10/22/2003	03:00:00	13.75	24.5	35.5	22.5	34	0.0	130	2.7	120	0.00	0
10/22/2003	06:00:00	13.75	23.0	35.5	22.5	37	0.0	120	2.2	130	0.00	0
10/22/2003	09:00:00	13.75	22.5	35.5	22.0	40	0.0	130	2.6	150	0.10	1
10/22/2003	12:00:00	13.75	28.5	----	----	30	0.0	90	----	----	3.40	----
10/22/2003	15:00:00	13.75	32.0	35.5	22.0	23	0.0	80	2.4	20	7.30	1
10/22/2003	18:00:00	13.75	31.0	35.0	22.0	22	0.1	260	3.9	290	4.90	0

10/22/2003	21:00:00	13.75	27.0	34.0	22.0	36	0.0	180	4.8	260	0.80	0
10/23/2003	00:00:00	13.75	23.0	----,---	----,---	58	0.0	190	----,---	----,---	0.00	----,---
10/23/2003	03:00:00	13.75	22.5	34.0	22.0	59	0.0	70	0.3	150	0.00	0
10/23/2003	06:00:00	13.75	22.0	34.0	21.5	61	0.0	110	2.1	130	0.00	0
10/23/2003	09:00:00	13.75	21.0	34.0	21.0	66	1.3	130	4.6	140	0.00	1
10/23/2003	12:00:00	13.75	22.5	34.0	21.0	62	0.9	130	4.6	130	0.90	1
10/23/2003	15:00:00	13.75	25.5	34.0	21.0	54	0.4	140	3.6	130	3.70	1
10/23/2003	18:00:00	13.75	24.5	31.0	21.0	57	0.4	170	4.8	150	2.90	1
10/23/2003	21:00:00	14.75	20.5	27.0	20.0	78	0.0	190	8.8	150	0.40	0
10/24/2003	00:00:00	14.75	19.5	----,---	----,---	77	1.4	130	----,---	----,---	0.00	----,---
10/24/2003	03:00:00	14.75	17.5	26.5	17.5	82	1.7	100	5.5	130	0.00	0
10/24/2003	06:00:00	24.50	15.0	26.5	15.0	94	0.0	130	4.4	110	0.00	0
10/24/2003	09:00:00	26.75	15.5	26.5	15.0	96	0.0	40	4.2	130	0.00	1
10/24/2003	12:00:00	27.00	17.5	26.5	15.0	82	0.0	140	2.8	140	0.80	1

Anexo 6: Tabela de Área Queimada (AQ) e do Perímetro do Fogo da simulação do incêndio no Parque Estadual Serra do Rola-Moça, entre os dias 20 e 24/10/2003 no FARSITE™.

Dia Corrido	Hora corrida	Dia	Hora	AQ Horizontal	AQ Slope	Incremento AQ Slope	Perimetro Horizontal	Perímetro Slope	Incremento Slope
00	00	20	1200	0	0	0	0,00618	0,00618	0,00618
00	01	20	1300	0,958	1,052	1,052	0,361633	0,400524	0,394344
00	02	20	1400	2,818	3,081	2,029	0,630901	0,68281	0,282286
00	03	20	1500	5,373	5,856	2,775	0,877574	0,922683	0,239873
00	04	20	1600	8,488	9,226	3,37	1,10788	1,156994	0,234311
00	05	20	1700	12,355	13,4	4,174	1,348401	1,416099	0,259105
00	06	20	1800	17,53	18,974	5,574	1,626641	1,721556	0,305457
00	07	20	1900	23,746	25,653	6,679	2,004972	2,135913	0,414357
00	08	20	2000	30,336	32,718	7,065	2,336934	2,465293	0,32938
00	09	20	2100	37,034	39,875	7,157	2,688507	2,838037	0,372744
00	10	20	2200	43,397	46,652	6,777	2,913804	3,052976	0,214939
00	11	20	2300	50,252	53,936	7,284	3,15725	3,275002	0,222026
00	12	21	0000	57,253	61,355	7,419	3,408196	3,526521	0,251519
00	13	21	0100	64,426	68,936	7,581	3,688339	3,806402	0,279881
00	14	21	0200	71,809	76,715	7,779	3,884183	4,002104	0,195702
00	15	21	0300	79,725	85,037	8,322	4,136414	4,280193	0,278089
00	16	21	0400	88,051	93,774	8,737	4,40483	4,543345	0,263152
00	17	21	0500	97,17	103,321	9,547	4,760318	4,896972	0,353627
00	18	21	0600	107,37	113,977	10,656	5,020056	5,169334	0,272362
00	19	21	0700	118,32	125,398	11,421	5,344161	5,507758	0,338424
00	20	21	0800	130,326	137,911	12,513	5,67579	5,845521	0,337763
00	21	21	0900	143,006	151,123	13,212	6,041886	6,239237	0,393716
00	22	21	1000	156,322	164,995	13,872	6,362618	6,553012	0,313775
00	23	21	1100	169,886	179,127	14,132	6,638388	6,888453	0,335441
01	24	21	1200	183,738	193,555	14,428	6,994925	7,210427	0,321974
01	25	21	1300	199,628	210,091	16,536	7,402702	7,610629	0,400202
01	26	21	1400	216,453	227,585	17,494	7,73621	7,958888	0,348259
01	27	21	1500	233,712	245,518	17,933	8,032444	8,229225	0,270337
01	28	21	1600	250,801	263,264	17,746	8,468519	8,659074	0,429849
01	29	21	1700	269,448	282,617	19,353	8,87174	9,065334	0,40626
01	30	21	1800	289,278	303,177	20,56	9,260678	9,456172	0,390838
01	31	21	1900	310,369	325,014	21,837	9,748389	9,966009	0,509837
01	32	21	2000	333,987	349,448	24,434	10,37076	10,604694	0,638685
01	33	21	2100	361,716	378,123	28,675	10,93816	11,213289	0,608595
01	34	21	2200	391,8	409,222	31,099	11,32212	11,617523	0,404234
01	35	21	2300	421,89	440,317	31,095	11,87535	12,156818	0,539295
01	36	22	0000	451,805	471,222	30,905	12,3091	12,607822	0,451004
01	37	22	0100	481,333	501,72	30,498	12,75917	13,081877	0,474055
01	38	22	0200	510,492	531,829	30,109	12,98161	13,256777	0,1749

01	39	22	0300	537,963	560,184	28,355	13,26412	13,548087	0,29131
01	40	22	0400	564,72	587,794	27,61	13,75357	14,020724	0,472637
01	41	22	0500	591,39	615,303	27,509	14,18398	14,441926	0,421202
01	42	22	0600	618,437	643,186	27,883	14,76199	15,03293	0,591004
01	43	22	0700	646,223	671,815	28,629	15,13394	15,387088	0,354158
01	44	22	0800	675,141	701,593	29,778	15,70128	15,94219	0,555102
01	45	22	0900	705,067	732,389	30,796	16,14106	16,372194	0,430004
01	46	22	1000	736,403	764,616	32,227	16,5894	16,841857	0,469663
01	47	22	1100	767,814	796,895	32,279	17,07144	17,332142	0,490285
02	48	22	1200	799,398	829,311	32,416	17,42519	17,678969	0,346827
02	49	22	1300	840,98	871,954	42,643	18,34262	18,618197	0,939228
02	50	22	1400	896,737	929,094	57,14	19,01276	19,347102	0,728905
02	51	22	1500	958,934	992,807	63,713	20,6348	20,988925	1,641823
02	52	22	1600	1014,305	1049,508	56,701	21,25638	21,617222	0,628297
02	53	22	1700	1067,902	1104,377	54,869	21,85371	22,211476	0,594254
02	54	22	1800	1122,227	1159,974	55,597	22,10002	22,489073	0,277597
02	55	22	1900	1180,855	1219,963	59,989	23,28878	23,741288	1,252215
02	56	22	2000	1241,296	1281,802	61,839	23,47442	23,946471	0,205183
02	57	22	2100	1299,18	1341,02	59,218	23,76775	24,246841	0,30037
02	58	22	2200	1360,512	1403,765	62,745	24,4152	24,884908	0,638067
02	59	22	2300	1418,588	1463,181	59,416	25,27207	25,750264	0,865356
02	60	23	0000	1476,061	1521,987	58,806	26,23552	26,769768	1,019504
02	61	23	0100	1537,779	1585,15	63,163	27,31198	27,910375	1,140607
02	62	23	0200	1601,631	1650,507	65,357	28,39278	28,974686	1,064311
02	63	23	0300	1663,604	1713,951	63,444	29,05776	29,670007	0,695321
02	64	23	0400	1718,857	1770,528	56,577	29,81235	30,45652	0,786513
02	65	23	0500	1772,316	1825,276	54,748	30,12486	30,769988	0,313468
02	66	23	0600	1824,266	1878,485	53,209	30,56809	31,16269	0,392702
02	67	23	0700	1867,985	1923,264	44,779	30,86063	31,460381	0,297691
02	68	23	0800	1911,639	1967,978	44,714	31,13938	31,752357	0,291976
02	69	23	0900	1957,025	2014,469	46,491	31,56629	32,168679	0,416322
02	70	23	1000	2004,238	2062,83	48,361	32,26133	32,921988	0,753309
02	71	23	1100	2051,935	2111,688	48,858	32,79296	33,495732	0,573744
03	72	23	1200	2100,063	2160,986	49,298	33,23432	33,90198	0,406248
03	73	23	1300	2152,289	2214,482	53,496	33,58467	34,25973	0,35775
03	74	23	1400	2204,984	2268,459	53,977	34,08816	34,790772	0,531042
03	75	23	1500	2256,654	2321,389	52,93	34,04946	34,791047	0,000275
03	76	23	1600	2304,322	2370,221	48,832	34,36385	35,141084	0,350037
03	77	23	1700	2351,901	2418,96	48,739	34,54647	35,32654	0,185456
03	78	23	1800	2399,441	2467,66	48,7	35,31268	36,06335	0,73681
03	79	23	1900	2449,801	2519,246	51,586	36,15786	36,924944	0,861594
03	80	23	2000	2502,185	2572,905	53,659	37,17561	37,970301	1,045357
03	81	23	2100	2556,089	2628,118	55,213	38,15329	38,948014	0,977713
03	82	23	2200	2605,969	2679,208	51,09	38,93795	39,800037	0,852023

03	83	23	2300	2654,921	2729,346	50,138	39,93041	40,829578	1,029541
03	84	24	0000	2703,144	2778,734	49,388	40,74066	41,61713	0,787552
03	85	24	0100	2750,884	2827,628	48,894	41,2931	42,179778	0,562648
03	86	24	0200	2799,229	2.877,14	49,512	42,02302	42,951534	0,771756
03	87	24	0300	2847,175	2.926,243	49,103	42,72523	43,63453	0,682996
03	88	24	0400	2891,798	2.971,941	45,698	43,23031	44,122129	0,487599
03	89	24	0500	2935,373	3.016,566	44,625	43,71607	44,639295	0,517166
03	90	24	0600	2978,964	3.061,206	44,64	43,69066	44,639615	0,00032
03	91	24	0700	3022,015	3.105,293	44,087	43,95532	44,879708	0,240093
03	92	24	0800	3069,543	3.153,966	48,673	44,24045	45,184545	0,304837
03	93	24	0900	3121,791	3.207,471	53,505	44,83036	45,854904	0,670359
03	94	24	1000	3174,252	3.261,194	53,723	45,2007	46,192384	0,33748
03	95	24	1100	3228,51	3.316,756	55,562	45,38702	46,32312	0,130736
04	96	24	1200	3283,496	3.373,063	56,307	46,07365	47,120463	0,797343
04	97	24	1300	3352,617	3.443,845	70,782	46,68294	47,696803	0,57634

Anexo 7: Formato tridimensional do incêndio simulado pelo programa FARSITE™, ocorrido no P. E. Serra do Rola-Moça durante o período de 20 a 24 de outubro de 2003.

