

ANTONIO CARLOS BATISTA

**AVALIAÇÃO DA QUEIMA CONTROLADA EM  
POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. NO NORTE DO PARANÁ**

Tese apresentada como requisito parcial  
à obtenção do Grau de Doutor em Ciên-  
cias Florestais. Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia Florestal, Universidade  
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares

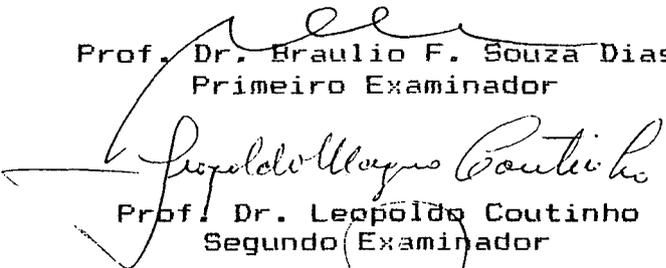
CURITIBA  
1995

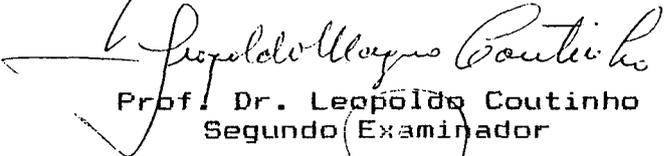
MINISTERIO DA EDUCACAO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA  
SETOR DE CIENCIAS AGRARIAS  
COORDENACAO DO CURSO DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA FLORESTAL

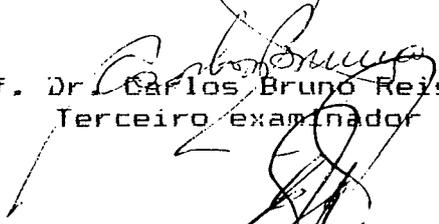
P A R E C E R

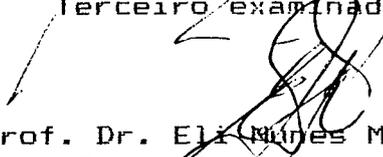
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de Doutorado apresentada pelo candidato ANTONIO CARLOS BATISTA, sob o título "AVALIAÇÃO DE QUEIMAS CONTROLADAS EM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* NO NORTE DO PARANÁ", para obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração em CONSERVAÇÃO DA NATUREZA. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Tese com média final: (8,65), correspondente ao conceito: ( B ).

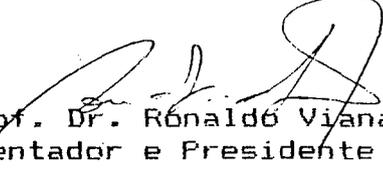
Curitiba, 07 de fevereiro de 1995

  
Prof. Dr. Braulio F. Souza Dias  
Primeiro Examinador

  
Prof. Dr. Leopoldo Coutinho  
Segundo Examinador

  
Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann  
Terceiro examinador

  
Prof. Dr. Eli Nunes Marques  
Quarto Examinador

  
Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares  
Orientador e Presidente da Banca

**À Daniela, ao Giuseppe e ao Giuliano**

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco por proporcionar a oportunidade e o apoio financeiro.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares, orientador e amigo, pela dedicada atenção e estímulo em todas as etapas deste trabalho.

Aos professores co-orientadores Dr. Franklin Galvão e Dr. Eli Nunes Marques pela atenção e sugestões.

Ao Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, pela orientação e auxílio nos trabalhos de campo e de laboratório relacionados ao reconhecimento do solo e análise de nutrientes, e pela orientação na interpretação dos resultados.

Ao Prof. M.Sc. Antonio Carlos V. Mota do Departamento de Solos da UFPR, pelo auxílio na análise e interpretação dos parâmetros da análise química do solo.

Ao Prof. M.Sc. Gumercindo Souza Lima, colega de curso, pela amizade e pela ajuda na coleta de dados de campo.

Ao Colega de curso, Prof. M.Sc. José Brandão de Moura pelo auxílio no processamento e análise do levantamento dendrométrico.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná pela atenção, dedicação e convívio durante as atividades acadêmicas.

À PISA FLORESTAL, por possibilitar a realização de todas as atividades de campo necessárias à execução deste trabalho, através de seu Diretor Florestal Eng. Florestal Adhemar Villela Filho e das seguintes pessoas: Eng. Florestal M.Sc. Alzir Rozak Fiates (Gerente de Silvicultura), Eng. Florestal Luciane Akemi dos Santos, Eng. Cartógrafo Carlos E.P. Genovezzi; Sr. Pedro Bordinhão e Sr. Renato Carlos dos Santos, supervisores de Silvicultura; Sr. Célio Fernandes, Sr. Eurico A. Silvano e Sr. Renato Fligicowski, encarregados florestais; Sr. José Irani Engre e Sr. José Adilson de Almeida, fiscais de silvicultura.

À Eng. Florestal Luciane Akemi dos Santos pela dedicação e atenção na administração de todas as atividades de coleta de dados no campo.

À FUPEF - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, tendo como Diretores os professores Dr. Atilio Antonio Disperatti, Dr. Ronaldo Viana Soares e M.Sc. Mauricio Balenselfer e como secretário o Sr. Manoel Mário Mendes, pelo apoio logístico na obtenção dos dados.

A todos os que direta ou indiretamente cotribuíram para a realização deste trabalho.

Em especial, à Profª. Dra. Daniela Biondi, minha querida esposa, pelas sugestões, pelo auxílio na digitação, pelo estímulo, compreensão e dedicação.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
RESUMO.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 QUEIMA CONTROLADA.....	3
2.2 MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	5
2.3 COMPORTAMENTO DO FOGO.....	8
2.3.1 Intensidade do fogo.....	9
2.3.2 Tempo de Residência (Duração do fogo).....	12
2.3.3 Calor Liberado por Unidade de Área.....	14
2.3.4 Altura de crestamento.....	15
2.4 TÉCNICAS DE QUEIMA.....	16
2.5 EFEITOS DO FOGO.....	19
2.5.1 Efeitos sobre as árvores.....	20
2.5.2 Efeitos no solo.....	22
2.5.2.1 Aquecimento do solo.....	22
2.5.2.2 Consumo de matéria orgânica e liberação de nutrientes.....	24
2.5.2.3 Propriedades do solo e erosão.....	27
2.5.2.4 Organismos do solo.....	28
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30

3.1.1 Localização.....	30
3.1.2 Clima.....	31
3.1.3 Solo.....	32
3.1.4 Vegetação.....	33
3.1.5 Características do povoamento.....	33
3.2 DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	34
3.3 TÉCNICAS DE QUEIMA.....	35
3.4 OBTENÇÃO DOS DADOS.....	35
3.4.1 Material combustível.....	36
3.4.2 Dados meteorológicos.....	37
3.4.3 Comportamento do fogo.....	38
3.4.3.1 Velocidade de propagação.....	38
3.4.3.2 Intensidade do fogo.....	38
3.4.3.3 Altura de crestamento.....	40
3.4.3.4 Calor liberado por unidade de área.....	40
3.4.3.5 Tempo de residência.....	41
3.4.3.6 Temperatura durante a passagem do fogo.....	41
3.4.4 Dados do povoamento.....	42
3.4.5 Altura de carbonização da casca.....	42
3.4.6 Dados do solo.....	44
3.5 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DO DADOS.....	44
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>46</b>
4.1 DESCRIÇÃO DAS QUEIMAS.....	46
4.2 MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	49
4.2.1 Caracterização.....	49
4.2.2 Redução do peso pela queima.....	51
4.2.3 Profundidade da queima.....	57

4.2.4	Relação peso X espessura da serapilheira.....	59
4.2.5	Umidade do material combustível.....	61
4.3	COMPORTAMENTO DO FOGO.....	64
4.3.1	Velocidade de propagação.....	64
4.3.2	Intensidade.....	67
4.3.3	Liberação de calor.....	70
4.3.4	Tempo de residência (duração do fogo).....	71
4.3.5	Temperatura durante a queima.....	73
4.4	AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS QUEIMAS.....	80
4.4.1	No solo.....	80
4.4.1.1	Teores de nutrientes da serapilheira.....	80
4.4.1.2	Características químicas do solo.....	81
4.4.2	Nas árvores.....	85
4.4.2.1	Altura de carbonização.....	85
4.4.2.2	Altura de crestamento.....	87
4.4.2.3	Incremento.....	90
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>.....</b>	<b>102</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. NÍVEIS DE INTENSIDADE DO FOGO PARA QUEIMAS DE MÉDIA INTENSIDADE EM POVOAMENTOS DE <i>Pinus elliottii</i> .....	11
TABELA 2. PESO SECO EM ESTUFA, EM g.m <sup>-2</sup> , DO MATERIAL COMBUSTÍVEL POR CLASSE E TOTAL, ENCONTRADOS SOB POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> COM 12 ANOS, SEM DESBASTE, SENGÉS-PR(N = 112).....	50
TABELA 3. QUANTIDADE MÉDIA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL (PESO SECO, EM g.m <sup>-2</sup> ) TOTAL E DISPONÍVEL E REDUÇÃO OBTIDA EM FUNÇÃO DA TÉCNICA DE QUEIMA, POR ANO ANALISADO.....	52
TABELA 4. REDUÇÃO MÉDIA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL EM FUNÇÃO DO ANO DE QUEIMA.....	54
TABELA 5. VALORES MÉDIOS DO PESO SECO (g.m <sup>-2</sup> ) DO MATERIAL COMBUSTÍVEL TOTAL, DISPONÍVEL E SUA REDUÇÃO EM PESO E PERCENTUAL OBTIDA EM FUNÇÃO DO TIPO E DA FREQUÊNCIA DE QUEIMA.....	55
TABELA 6. VARIAÇÃO MÉDIA DA QUANTIDADE TOTAL DO MATERIAL COMBUSTÍVEL NO PERÍODO DE 1991 A 1994, NAS PARCELAS TESTEMUNHAS E QUEIMADAS.....	56
TABELA 7. MÉDIAS DA ESPESSURA TOTAL DA SERAPILHEIRA ANTES E APÓS A QUEIMA E DA ESPESSURA DOS HORIZONTES ORGÂNICOS L E F ANTES DA QUEIMA.....	58
TABELA 8. REDUÇÃO DA ESPESSURA DOS HORIZONTES ORGÂNICOS PELAS QUEIMAS CONTRA E A FAVOR DO VENTO.....	59
TABELA 9. CARACTERÍSTICAS DAS EQUAÇÕES ESTIMATIVAS DO PESO DA SERAPILHEIRA (Y) EM FUNÇÃO DA ESPESSURA (X).....	60

TABELA 10. CONTEÚDO DE UMIDADE DO MATERIAL COMBUSTÍVEL NO MOMENTO DAS QUEIMAS NOS ANOS DE 1991 A 1994.....	62
TABELA 11. VELOCIDADE MÉDIA DE PROPAGAÇÃO DO FOGO ( $r$ ), EM $m.s^{-1}$ , POR ANO E POR TIPO DE QUEIMA.....	65
TABELA 12. VELOCIDADE MÉDIA DE PROPAGAÇÃO DO FOGO ( $r$ ), EM $m.s^{-1}$ , EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA E DA TÉCNICA DE QUEIMA.....	66
TABELA 13. INTENSIDADE MÉDIA DO FOGO ( $I$ ), EM $kcal.m^{-1}.s^{-1}$ , POR ANO E POR TIPO DE QUEIMA.....	67
TABELA 14. INTENSIDADE MÉDIA DO FOGO ( $I$ ), EM $kcal.m^{-1}.s^{-1}$ , EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA E DO TIPO DE QUEIMA.....	69
TABELA 15. MÉDIAS DE CALOR LIBERADO ( $H_a$ ), EM $kcal.m^{-1}.s^{-1}$ , POR ANO E POR TIPO DE QUEIMA.....	70
TABELA 16. MÉDIAS DE CALOR LIBERADO ( $H_a$ ), EM $kcal.m^{-2}$ , EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA E DO TIPO DE QUEIMA.....	71
TABELA 17. TEMPO DE RESIDÊNCIA MÉDIO DO FOGO ( $t_r$ ), CALOR LIBERADO ( $H_a$ ) E INTENSIDADE DE REAÇÃO ( $I_r$ ) DURANTE AS QUEIMAS DE 1991 A 1994.....	72
TABELA 18. MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS (EM $^{\circ}C$ ) VERIFICADAS NA SUPERFÍCIE DO PISO FLORESTAL DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA E A FAVOR DO VENTO.....	74
TABELA 19. MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS (EM $^{\circ}C$ ) VERIFICADAS SOB A SERAPILHEIRA DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA E A FAVOR DO VENTO.....	75
TABELA 20. MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS (EM $^{\circ}C$ ) VERIFICADAS 1 METRO ACIMA DA SUPERFÍCIE DO FLORESTAL DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA E A FAVOR DO VENTO.....	77
TABELA 21. CORRELAÇÕES ENTRE TEMPERATURAS MÁXIMAS OBTIDAS	

DURANTE A PASSAGEM DO FOGO E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E DO COMPORTAMENTO DO FOGO.....	79
TABELA 22. CONTEÚDOS TOTAIS DE N, K, Ca E Mg ENCONTRADOS NA SERAPILHEIRA DE <i>Pinus taeda</i> , NAS PARCELAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS.....	80
TABELA 23. VALORES DE pH E TEORES DE $Al^{+3}$ E $H+Al$ NAS CAMADAS DO SOLO DE ÁREAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS SOB POVOAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> .....	81
TABELA 24. TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA (M.O.), CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (T), SATURAÇÃO DE ALUMÍNIO (m) E SATURAÇÃO DE BASES (V) EM CAMADAS SUPERFICIAIS DE SOLOS DE ÁREAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS.....	83
TABELA 25. TEORES DE CÁTIOS TROCÁVEIS $Ca^{+2}$ , $Mg^{+2}$ , $K^{+}$ E P NAS CAMADAS SUPERFICIAIS DO SOLO DE ÁREAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS.....	84
TABELA 26. CORRELAÇÕES ENTRE ALTURA DE CARBONIZAÇÃO DA CASCA DAS ÁRVORES ( $H_{CB}$ ) E VARIÁVEIS DO COMPORTAMENTO DO FOGO.....	86
TABELA 27. ALTURA DE CRESTAMENTO ( $H_S$ ), EM M, POR ANO E POR TIPO DE QUEIMA.....	88
TABELA 28. MÉDIA DE ALTURA DE CRESTAMENTO ( $H_S$ ), EM M, POR FREQUÊNCIA E TIPO DE QUEIMA.....	89
TABELA 29. CRESCIMENTO EM DAP E ALTURA DAS ÁRVORES DE <i>Pinus taeda</i> , NO PERÍODO DE 1991 A 1994, EM PARCELAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS.....	90
TABELA 30. CRESCIMENTO EM DAP E EM ALTURA DAS ÁRVORES DE <i>Pinus taeda</i> , POR FREQUÊNCIA DE QUEIMA, NO PERÍODO DE	

1991 A 1994.....	91
TABELA 31. CRESCIMENTO EM DAP E ALTURA DAS ÁRVORES DE	
<i>Pinus taeda</i> , EM PARCELAS QUEIMADAS CONTRA E A FAVOR DO	
VENTO, NO PERÍODO DE 1991 A 1994.....	
	91

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SENGÉS EM RELAÇÃO AO BRASIL E AO PARANÁ.....	30
FIGURA 2. TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DOS ANOS DE 1991 A 1994 E MÉDIAS MENSAIS DE 18 ANOS (1975 A 1994) DO MUNICÍPIO DE SENGÉS-PR.....	31
FIGURA 3. PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DOS ANOS DE 1991 A 1994 E DE UM PERÍODO DE 20 ANOS (1975 A 1994) DO MUNICÍPIO DE SENGÉS- PR.....	32
FIGURA 4. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ALTURA DE CARBONIZAÇÃO DA CASCA DAS ÁRVORES ( $H_{CB}$ ), ALTURA ( $H_f$ ) E COMPRIMENTO DAS CHAMAS ( $F_L$ ) EM UM POVOAMENTO DE PINUS, DURANTE UMA QUEIMA...	43
FIGURA 5. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E TEMPERATURA DO AR ( $T_{ar}$ ), DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 28/11/91.....	46
FIGURA 6. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E TEMPERATURA DO AR ( $T_{ar}$ ), DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 29/11/91.....	47
FIGURA 7. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E TEMPERATURA DO AR ( $T_{ar}$ ), DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 18/06/92.....	48
FIGURA 8. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E TEMPERATURA DO AR ( $T_{ar}$ ), DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 05/11/93.....	48
FIGURA 9. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E TEMPERATURA DO AR( $T_{ar}$ ), DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 30/06/94.....	49
FIGURA 10. VARIAÇÃO DO PESO DA CAMADA DE SERAPILHEIRA EM FUNÇÃO DA ESPESSURA NO ANO DE 1993.....	61
FIGURA 11. VARIAÇÃO DO PESO DA CAMADA DE SERAPILHEIRA EM	

FUNÇÃO DA ESPESSURA NO ANO DE 1994.....	61
FIGURA 12. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE DO PISO FLORESTAL DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA (QCV) E A FAVOR DO VENTO (QFV).....	73
FIGURA 13. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA SOB A SERAPILHEIRA DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA (QCV) E A FAVOR DO VENTO (QFV).....	75
FIGURA 14. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA A 1 METRO ACIMA DA SUPERFÍCIE DA FLORESTA DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA (QCV)E A FAVOR DO VENTO (QFV).....	77

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido em Sengés-Pr, em um plantio de *Pinus taeda*, tendo como objetivos: analisar o comportamento do fogo em queimas controladas, avaliar os efeitos do fogo sobre o crescimento das árvores e sobre características químicas do solo e da serapilheira, determinar a técnica de queima mais adequada para redução do material combustível e o intervalo ideal entre as queimas. O delineamento estatístico empregado foi de blocos ao acaso com 7 tratamentos e 4 repetições. Para compor os tratamentos utilizaram-se três períodos de queima (anual, bianual e trienal), duas técnicas (contra e a favor do vento) e uma testemunha. As queimas foram realizadas anualmente no período de 1991 a 1994. As melhores condições de queima ocorreram em 1993 e as piores em 1992. Antes e depois de cada queima procedeu-se o levantamento da quantidade de material combustível existente depositado no piso do povoamento, a fim de determinar o consumo pelo fogo. As queimas reduziram entre 21 e 45 % da quantidade total do material combustível e cerca de 32,5 % da espessura total da camada de serapilheira. As queimas contra o vento reduziram menor quantidade de combustível do que as queimas a favor do vento no ano de 1993, enquanto que nenhuma diferença foi detectada nos demais anos. Não houve diferença na redução do material combustível em função das frequências de queima analisadas. O monitoramento do fogo e das condições ambientais durante a queima de cada parcela, juntamente com diversas informações adicionais de campo e bibliográficas, possibilitaram a obtenção das seguintes variáveis do comportamento do fogo: velocidade de propagação ( $r$ ), intensidade ( $I$ ), calor liberado ( $H_a$ ), tempo de residência ( $t_r$ ) e máxima temperatura durante a passagem do fogo. A velocidade média de propagação, estimada diretamente no campo, variou entre 0,004 e 0,01 m.s<sup>-1</sup>. A intensidade foi estimada através da equação de Byram ( $I=H.w.r$ ), e apresentou variação de 2,47 até 38,82 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>. O tempo de residência do fogo foi estimado em 14,4 s. Para as variáveis  $r$ ,  $I$  e  $H_a$  as maiores médias foram observadas em 1993 e não houve diferença entre as frequências de queima. Nas queimas a favor do vento as médias de  $r$  e  $I$  foram maiores que nas queimas contra o vento, enquanto que para as médias de  $H_a$  não houve diferença entre as técnicas. As médias das máximas temperaturas observadas durante a passagem do fogo, sob a serapilheira, na superfície e a 1 metro de altura, tiveram variação distinta em função do ano e da técnica de queima. As maiores médias observadas variaram entre 600 e 700 °C na superfície e sob a serapilheira, e as menores, entre 50 e 60 °C, ocorreram a 1 metro de altura. A fim de verificar os efeitos do fogo no solo analisaram-se os nutrientes da serapilheira e as características químicas do solo nas áreas queimadas e não queimadas. Os resultados indicaram não haver alteração significativa nos teores de K, Ca e Mg nas áreas queimadas. Quanto às características químicas, também não houve aumento significativo no pH do solo e de Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e P nas áreas queimadas. Na avaliação dos efeitos do fogo sobre as árvores analisou-se a altura de carbonização da casca das árvores, a altura de crestamento letal e o incremento em diâmetro e altura das árvores. As médias de altura de crestamento (entre 0,47 e 2,09) foram muito inferiores ao mínimo necessário para provocar danos às copas das árvores. A altura de carbonização da casca apresentou uma forte correlação com a intensidade ( $r = 0,79$ ) e com a altura de crestamento ( $r = 0,81$ ), mostrando ser importante para avaliação dos efeitos do fogo. Houve um aumento não significativo dos incrementos em diâmetro e altura nas parcelas queimadas. Devido às condições muito distintas de queima nos anos analisados, não foi possível definir a técnica de queima mais adequada para reduzir o material combustível no local analisado. Os resultados de apenas um ciclo de queima não foram suficientes para estabelecer o intervalo ideal entre as queimas.

**ABSTRACT**

This research was carried out in Sengés, PR, in a loblolly pine plantation. The objectives were to analyze prescribed fire behavior, to evaluate fire effects on tree growth and soil and litter chemical properties, to determine the most effective burning technique, to reduce forest fuels, and to determine the adequate interval between burnings. The statistical design was a randomized block with 7 treatments and 4 replications. The treatments comprised three burning periods (annual, biennial, and triennial), two techniques (back-fire and strip head-fire), and the control. The burnings were done annually from 1991 to 1994. The best burning conditions occurred in 1993, and the worst in 1992. Before and after each burning the fuel load was sampled to determine fire fuel consumption. The burnings reduced 21 to 45.0% of the total dead fuel load and 32.5% of the total litter depth. Back-fires reduced smaller amounts of fuels in the 1993, while in other years no difference was detected. No significant difference in fuel reduction was detected when comparing burning frequencies. The observation of the fire and weather conditions during the burnings associated to additional field and bibliographic information allowed the estimation of the following fire behavior variables: rate of spread ( $r$ ), fire intensity ( $I$ ), heat release ( $H_a$ ), residence time ( $t_r$ ), and maximum temperature. Rate of spread, measured in the field, ranged from 0.004 to 0.01  $m \cdot s^{-1}$ . Fire intensity, estimated through Byram's equation, ranged from 2.47 to 38.82  $kcal \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ . The average residence time was estimated in 14.4 s. For  $I$ , and  $H_a$  variables, the greatest values were observed in 1993, and no significant difference among burning frequencies was found. Values of  $r$  and  $I$  were larger in the head-fires in 1993, but for  $H_a$  no difference between the burning techniques was observed. Maximum temperature averages during the burnings, measured in three levels (under the litter layer, at soil surface, and 1.0 m high), presented different variation according to the year and burning technique. The highest values were 600 to 700°C at soil surface, and the lower 50 to 60°C at 1.0 m high. To determine effects in the soil, nutrients in the litter and soil characteristics, both in the burning and no burning areas, were analyzed. There was no significant difference on K, Ca and Mg in the litter of burned areas. Regarding the chemical characteristics, small reduction on soil acidity and increase (not statistically significant) on  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , and P were observed. To evaluate fire effects on trees, bark char height, scorch height, and trees diameter and height increments were analyzed. Average scorch heights (0.47 to 2.09 m) were too low to promote damage to the foliage of trees. Bark char height presented a strong correlation with fire intensity ( $r=0.79$ ) and scorch height ( $r=0.81$ ) indicating that it could be an important variable to evaluate fire effects. There was no significant increase on diameter and height increments on trees in the burning plots. Due to different conditions of burning in each year, it was not possible to define the best techniques to reduce forest fuels in the analyzed site. The results of only one burning cycle was not sufficient to establish the best interval between burnings.

## 1 INTRODUÇÃO

Existem aproximadamente 6 milhões de hectares de povoamentos florestais implantados no Brasil. As áreas reflorestadas com pinus representam cerca de 40% destes povoamentos, que são utilizadas em sua maior parte para produção de papel e celulose.

A proteção destas áreas é de vital importância para manter o capital e viabilizar o planejamento das empresas.

Os incêndios florestais são uma ameaça constante e o risco e a intensidade de danos aumenta, dentre outros aspectos, em função da extensão da área e da idade dos povoamentos.

Apesar dos riscos e problemas que causa, o fogo é utilizado de forma controlada, como um instrumento útil e barato em diversas atividades florestais e agrícolas, em praticamente todas as regiões do mundo.

O acúmulo de material combustível sob povoamentos de pinus ao longo dos anos aumenta drasticamente o risco de incêndios. Uma das alternativas para se diminuir este risco ou diminuir o potencial de danos dos incêndios é reduzir periodicamente a quantidade de material combustível no interior dos povoamentos através de queima controlada.

A queima controlada para redução do material combustível em povoamentos florestais vem sendo empregada em diversos países, tais como: Estados Unidos da América, Canadá, Austrália e África do Sul. No Brasil, apesar do fogo ser muito empregado, principalmente em atividades agropecuárias, a queima visando a redução do material combustível não é utilizada.

Inúmeros argumentos podem ser utilizados para fomentar o uso da queima controlada em povoamentos florestais. Por outro lado, seriam também inúmeras as contra-argumentações no sentido de desencorajar o seu uso. No entanto, antes de qualquer questionamento é necessário primeiro conhecer o comportamento e os possíveis efeitos do fogo que possam limitar ou inviabilizar o seu uso florestal no Brasil. As divergências sobre o uso do fogo em

atividades florestais provêm justamente do número restrito de pesquisas sobre o assunto, principalmente sobre o dimensionamento e comportamento do fogo em queimas controladas.

A queima controlada em povoamentos florestais é uma atividade de risco semelhante ao uso de um inseticida ou herbicida, isto é, para que se atinjam os objetivos pretendidos é necessário que se conheça a forma de ação e os efeitos sobre os diversos elementos do ecossistema e se prescreva as dosagens adequadas. Portanto, o problema do fogo nas atividades florestais não está no seu uso e sim como e em que níveis de intensidade deve ser utilizado.

Considerando que a queima controlada para redução do material combustível em povoamentos de pinus no Brasil pode vir a ser uma alternativa viável e importante na prevenção e redução dos incêndios destas áreas, os objetivos deste trabalho são:

- Analisar o comportamento do fogo em queimas controladas em um povoamento de *Pinus taeda* L.;
- Avaliar os efeitos do fogo sobre as árvores e o solo;
- Determinar a técnica de queima mais adequada para redução do material combustível;
- Determinar o intervalo ideal entre as queimas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 QUEIMA CONTROLADA

Queima controlada é definida como sendo a aplicação controlada do fogo em combustíveis, tanto no estado natural como alterado, sob determinadas condições de clima, de umidade do material combustível, de umidade do solo, entre outros, de tal forma que o mesmo seja confinado a uma área pré-determinada e produza a intensidade de calor e a taxa de propagação necessária para favorecer certos objetivos do manejo (WADE & LUNSFORD, 1989).

Nos plantios industriais de pinus, de acordo com DE RONDE *et al.* (1990), a exclusão total do fogo é contra-produtivo, devido à acumulação da serapilheira, que aumenta o potencial de destruição dos incêndios, além de retardar a formação de um sub-bosque herbáceo-arbustivo, componente necessário para a estabilidade ecológica dos povoamentos. Experimentos de queima controlada têm sido realizados em muitos países tropicais e subtropicais, entre os quais: Bahamas, Belize, Brasil, Costa Rica, Fiji, Honduras, Nicarágua, Panamá, Espanha e Venezuela. Estes estudos têm demonstrado, em muitos casos, que a queima controlada pode ser usada segura e eficientemente em plantios industriais.

Queima controlada parece ser uma das melhores soluções para o problema de acúmulo de material combustível em povoamentos de pinus, que são espécies resistentes ao fogo de baixa intensidade. Por ser uma técnica relativamente barata, sua aplicação poderia representar grande economia nos custos de proteção contra incêndios florestais (SOARES, 1979).

De acordo com GOLDAMMER (1982), a decomposição das acículas nos povoamentos jovens de pinus é muito lenta, resultando num acúmulo de material combustível que pode chegar a 12 ton/ha em povoamentos de 6-7 anos de idade. Os incêndios ocorridos durante a estação seca liberam calor e produzem altura de chamas suficiente para destruir o

povoamento inteiro. Esta energia potencial de incêndios pode ser reduzida pelo uso das técnicas de queima controlada sem danos ao povoamento.

A queima controlada para redução do material combustível tem sido usada há muitos anos em reflorestamentos de pinus do sudeste dos EUA. No entanto, as queimas que são conduzidas em intervalos de 5 anos ou mais são geralmente muito infrequentes para proteger as árvores durante todo intervalo entre as queimas. Os resultados têm demonstrado que um aumento da acumulação de material combustível é acompanhado por um aumento geral no número, na intensidade e na proporção dos incêndios florestais. Os estudos feitos no norte da Flórida mostraram que da área total consumida por incêndios florestais anualmente, 7 % correspondiam a áreas onde as queimas controladas eram realizadas em intervalos superiores a 5 anos, enquanto que apenas 0.1 % correspondiam a áreas onde as queimas controladas eram realizadas em intervalos menores do que 5 anos (DAVIS & COOPER<sup>1</sup>, 1963 citados por SACKETT, 1975).

Estudos realizados por SACKETT (1975) durante 12 anos em povoamentos de *Pinus elliottii* no sudeste dos EUA indicam que áreas não queimadas por fogo controlado, no mínimo a cada três anos, podem ser danificadas por incêndios florestais que atinjam intensidades apenas ligeiramente maiores do que aquelas obtidas durante as queimas controladas sob condições normais.

No sudeste dos EUA, cerca de 1 milhão de hectares são queimados anualmente com fogo controlado (KODAMA & Van LEAR<sup>2</sup>, 1980; RICHTER *et al*<sup>3</sup>, 1982 citados por SCHOCH & BINKLEY, 1986).

---

<sup>1</sup>DAVIS, K.; COOPER, L. How prescribed burning affects wildfire occurrence. *J. Forestry*, Washington, v.61, n.12, p.915-916, 1963.

<sup>2</sup>KODAMA, H.E.; VAN LEAR, D.H. Prescribed burning and nutrient cycling relationships in young loblolly pine plantations. *South. J. Appl. For.*, V.4, p.118-121, 1980.

<sup>3</sup>RICHTER, D.D; RALSTON, C.W.; HARMS, W.R. Prescribed fire: effects on water quality and forest nutrient cycling. *Science*, v.215, p.661-663, 1982.

## 2.2 MATERIAL COMBUSTÍVEL

O material combustível é fundamental para a ocorrência e a propagação do fogo porque é um dos elementos componentes do triângulo do fogo (combustível, oxigênio e temperatura de ignição) e é o único elemento sobre o qual se pode atuar diretamente.

Material combustível florestal pode ser definido como qualquer material orgânico, vivo ou morto, no solo ou acima deste, capaz de entrar em ignição e queimar (SCHROEDER & BUCK, 1970, SOARES, 1985). Os materiais combustíveis florestais ocorrem em inúmeras combinações de tipo, quantidade, tamanho, forma, posição, arranjo e teor de umidade.

Pode-se classificar os combustíveis florestais em três grupos, de acordo com sua distribuição vertical (BROWN & DAVIS, 1973): combustíveis de solo, superficiais e aéreos. Estão incluídos como combustíveis de solo todos os materiais que estão abaixo da superfície da floresta, tais como: húmus, raízes das árvores, tocos em decomposição e turfa. Como combustíveis superficiais são classificados os materiais depositados sobre o piso da floresta, tais como: folhas, ramos, galhos, casca, cones e frutos que ainda não foram totalmente decompostos. Nesta categoria também estão incluídas as herbáceas e os arbustos pequenos com altura de até 1,80 m. Incluem-se na categoria de combustíveis aéreos os materiais localizados no sub-bosque e na parte superior da copa das árvores, separados da superfície da floresta por uma altura superior a 1,80 m. Os principais materiais aéreos são os ramos e as folhas das árvores e arbustos, os galhos secos presos às árvores, os musgos, líquenes e outras plantas epífitas.

SOARES (1985) classifica os combustíveis em função de sua periculosidade. De acordo com este critério, os combustíveis podem ser classificados como: perigosos, semi-perigosos e verdes. Estão incluídos na categoria de perigosos galhos e ramos pequenos, com diâmetro menor do que 1,0 cm, folhas, líquenes, musgos e herbáceas, todos em estado seco. São materiais que perdem umidade rapidamente, apresentam menor temperatura de ignição e por isso facilitam o início do fogo e aceleram a propagação, queimando rapidamente. Os semi-

perigosos são materiais geralmente lenhosos como troncos caídos, tocos, galhos e ramos acima de 1,0 cm de diâmetro, incluindo-se também o húmus e a turfa. São materiais compactados ou de dimensões grossas que queimam lentamente. Apresentam ignição lenta e difícil. No entanto, desenvolvem intenso calor. Os materiais verdes são constituídos pela vegetação viva existente na floresta ou povoamento. Devido ao seu alto teor de umidade, os combustíveis verdes, exceto as coníferas, são às vezes considerados não inflamáveis. O calor liberado pela combustão dos outros combustíveis, entretanto, pode secar esses materiais tornando-os inflamáveis.

A quantidade do combustível influencia se o fogo vai se propagar ou não e determina a quantidade de calor que será liberada na queima. Conforme WRIGHT<sup>4</sup> *et al* (1979), **citado por** ANDERSON & BROWN (1988), deve existir no mínimo 1,235 ton.ha<sup>-1</sup> de material fino, seco, disperso em uma área para que um incêndio superficial possa se propagar. A intensidade do fogo é diretamente proporcional à quantidade de combustível que queima. Nem todo material é necessariamente combustível. A quantidade de combustível que está disponível para queimar é chamada de "combustível disponível" e depende de várias outras propriedades, entre elas: tamanho das partículas, conteúdo de umidade e continuidade. Na prática, combustível disponível é a quantidade de material que normalmente é consumida num incêndio superficial. De acordo com SOARES (1985), corresponde aproximadamente a 70 - 85 % da quantidade total de combustível com diâmetro inferior a 2.5 cm .

Analisando-se vários trabalhos sobre queima controlada, verificou-se que a percentagem de material combustível consumido pelo fogo variou entre 40 e 75 % do total (DAVIS *et al.*, 1968; GILMOR & CHENEY, 1968; HOUGH, 1968; HARDWOOD & JACKSON, 1975; FFOLLIOTT *et al.*, 1977; SACKETT, 1980; HAIGH, 1980; GOLDAMMER, 1983a). SCHOCH & BINKLEY (1986), analisando trabalhos sobre queima controlada concluíram que o consumo de material combustível do piso florestal em

---

<sup>4</sup>WRIGHT, H. A.; NEUENSCHWANDER, L.F.; BRITTON, C.M. The role and use of fire in sagebrush-grass and pynion-juniper plant communities. A state-of-the-art review. **Gen. Tech. Rep.**, Ogden, U.S.D.A. Forest service, INT-58, 48p. 1979.

povoamentos de *Pinus taeda* nos EUA varia de 10 a 40 % do total. Esta variação está associada com a intensidade da queima, o tipo de material combustível e a condição meteorológica.

O conteúdo de umidade é a mais importante propriedade que controla a inflamabilidade dos combustíveis. Os combustíveis vivos e mortos têm diferentes mecanismos de retenção de água e diferentes repostas às variações meteorológicas. O conteúdo de umidade do material vivo é mais estável e maior do que o material morto. O material morto é mais seco e responde mais rapidamente às mudanças meteorológicas, sendo portanto o principal responsável pela propagação dos incêndios. O conteúdo de umidade dos combustíveis mortos flutua principalmente em função da variação da umidade relativa e temperatura do ar, e da precipitação. Partículas finas de combustíveis, tais como: folhas secas e pequenos galhos podem variar o conteúdo de umidade consideravelmente em poucas horas. Ao contrário, são necessários vários dias ou semanas para variar significativamente o conteúdo de umidade de um tronco de árvore caído ou de um galho seco. Portanto, combustíveis de diferentes dimensões respondem distintamente às variações do ambiente.

A determinação da umidade dos combustíveis pode ser feita mediante o uso de medições diretas em amostragem de campo e determinação em laboratório e também através de métodos indiretos que fornecem estimativas da umidade em função de variáveis meteorológicas (FOSBERG, 1977; ANDERSON *et al.*, 1978, ROTHERMEL, 1983; BATISTA, 1984).

A compactação é uma outra característica importante do material combustível. De acordo com RIGOLOT (1990) compactação é o espaçamento entre materiais combustíveis, ou seja, é a proporção entre a quantidade de partículas do combustível e de ar numa determinada quantidade de combustível. Um componente do combustível com menos ar terá uma maior compactação. Ao contrário, um componente com mais ar ou espaço entre as partículas terá uma compactação baixa. A compactação afeta principalmente a taxa de secagem e a velocidade de propagação dos combustíveis.

Continuidade é outra propriedade importante a se considerar sobre os combustíveis. Refere-se à distribuição dos combustíveis, tanto horizontal como vertical. A continuidade controla parcialmente onde o fogo pode ir e a velocidade com que se propaga. A continuidade horizontal pode ser entendida como uma distribuição uniforme ou desuniforme do combustível sobre uma área, de forma a possibilitar ou não a propagação linear ou horizontal do fogo. A distribuição vertical se deve à disposição dos combustíveis a diversas alturas, como se fossem degraus de uma escada, tais como: musgos aderidos aos troncos das árvores, folhas, galhos e ramos secos pendurados nos arbustos, pequenas árvores crescendo próximas à árvores maiores, etc. possibilitando a propagação vertical do fogo (ANDERSON & BROWN, 1988).

### 2.3 COMPORTAMENTO DO FOGO

As publicações sobre os efeitos do fogo e as discussões entre investigadores revelam um sério problema: raramente uma característica referente ao fogo é descrita em termos quantitativos. Frequentemente, o fogo não é descrito inteiramente, apenas sua ocorrência é documentada. Os observadores podem descrever um fogo como quente ou frio, ou em termos, tais como: queimando e correndo. Devido a isso, o conhecimento do comportamento e dos efeitos do fogo tornam-se de valor limitado porque é impossível, ou na melhor das vezes, é muito difícil correlacionar e comunicar resultados de diferentes estudos (ROTHERMEL & DEEMING, 1980).

Alguns especialistas empregam o termo comportamento do fogo para designar as características físicas do fogo durante uma queima e que controlam o desenvolvimento potencial dos efeitos que se podem alcançar em sua propagação (JULIO & GIROZ, 1975).

O termo comportamento do fogo refere-se à maneira como o material entra em combustão, como se desenvolvem as chamas e como o fogo se propaga e apresenta outros

fenômenos. Em resumo, comportamento do fogo é o termo que designa o que o fogo faz (BROWN & DAVIS, 1973; SOARES, 1985).

Comportamento do fogo é o resultado da interação entre clima e condições do combustível, topografia, técnica de queima e forma de ignição. Medidas do comportamento do fogo são úteis para comparar queimas, para o planejamento da supressão e para estimar os efeitos do fogo (WADE<sup>5</sup>, 1986 citado por DE RONDE *et al.*, 1990).

BYRAM (1959) foi o primeiro a reconhecer a necessidade de uma definição precisa do comportamento do fogo. Ele introduziu termos como intensidade do fogo e taxa de combustão. Os termos de comportamento do fogo, definidos por BYRAM, tem sido usados por inúmeros autores para descrever as condições das queimas controladas em povoamentos florestais.

### 2.3.1 Intensidade do fogo

Um dos mais importantes parâmetros do comportamento do fogo, é a intensidade do fogo. BYRAM (1959) definiu este termo como " a quantidade de energia liberada por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente do fogo". Numericamente é igual ao produto do combustível disponível, pelo calor de combustão e pela velocidade de propagação do fogo. A equação é :

$$I = H.w.r , \text{ onde:}$$

**I** = intensidade do fogo, em kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>;

**H** = calor de combustão, em kcal.kg<sup>-1</sup>;

**w** = peso do combustível disponível, em kg.m<sup>-2</sup>;

---

<sup>5</sup>WADE, D.D. Linking fire behavior to its effects on living plant tissue. In: Soc. Amer. For. Convention (1986: Birmingham). *Proceedings*. Washington: Soc. Am. For. 1986, p.112-116.

$r$  = velocidade de propagação do fogo, em  $m.s^{-1}$ .

O calor de combustão (H) do material combustível é a energia que mantém a reação de combustão. Pode-se definir como sendo a quantidade de calor (em kcal) liberado na combustão de 1kg de material combustível. Essa quantidade pode ser determinada com precisão em laboratório para todos os tipos de materiais. O calor de combustão dos materiais combustíveis florestais varia de acordo com a espécie e com o tipo de material. HAKKILA<sup>6</sup> (1984), citado por SOARES & HAKKILA (1984), verificou que quanto maior a proporção de madeira no material, menor o seu poder calorífico. Isto porque a resina e outros produtos existentes em maiores proporções nas acículas e galhos mais finos apresentam poder calorífico superior ao da madeira.

O segundo termo da equação, quantidade do material combustível (w) disponível, geralmente requer medição em campo. É possível, no entanto, estimar a quantidade de material combustível através de variáveis do povoamento, tais como: idade, área basal e dimensões da copa.

A velocidade de propagação do fogo ( $r$ ) é a distância percorrida pelo fogo num determinado período de tempo. Pode ser estimada através de modelos matemáticos (BURGAN & ROTHERMEL, 1984; TRABAUD<sup>7</sup>, 1979 citado por SOARES, 1985) ou medida diretamente no campo. Pode variar de  $0,005 m.s^{-1}$  a  $0,01 m.s^{-1}$  numa queima controlada, chegando a  $5 m.s^{-1}$  num incêndio de grandes proporções. Segundo JULIO & GIROZ (1975), a velocidade de propagação varia segundo o tipo de incêndio em desenvolvimento. Um incêndio subterrâneo pode desenvolver-se num ritmo de  $0,014 m.s^{-1}$  a  $0,055 m.s^{-1}$  em terrenos planos e sem influência do vento. Em incêndios de copas o fogo pode propagar-se a uma velocidade de  $1,39 m.s^{-1}$  a  $2,78 m.s^{-1}$  ou mais.

---

<sup>6</sup>HAKKILA, Forest chips as fuel for heating plants in Finland. *Folia Forestalia*, n.586, p.1-62, 1984.

<sup>7</sup>TRABAUD, Etude du comportement du feu dans la Garigue de Chêne kermes à partir des températures et des vitesses de propagation. *Aun. Sci. Forest*, v36, n.1, p13-38, 1979.

Em geral, de acordo com BROWN & DAVIS (1973), os incêndios pequenos dificilmente podem exceder níveis de  $500 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ , enquanto que incêndios de grande magnitude, podem ultrapassar níveis de liberação de energia calórica de  $15.000 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ .

A intensidade do fogo é uma das mais completas descrições de um fogo que é significativo em termos de danos que pode produzir sob determinadas circunstâncias. Assim é que diversos pesquisadores descrevem o comportamento do fogo de acordo com uma escala de diferentes níveis de intensidade do fogo ( McARTHUR, 1962; ROTHERMEL, 1983; SOARES, 1985; De RONDE *et al.*, 1990;)

WADE<sup>5</sup> (1986), citado por DE RONDE *et al.* (1990), descreve níveis de intensidade associados com o comportamento do fogo para auxiliar os planos de prescrição de queimas em povoamentos de *Pinus elliottii* no sul dos EUA (TABELA 1).

TABELA 1. NÍVEIS DE INTENSIDADE DO FOGO PARA QUEIMAS DE MÉDIA INTENSIDADE EM POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii*.

INTENSIDADE	DESCRIÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO
$\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$	
< 17	Intensidade muito baixa. Comprimento das chamas menor do que 0,3 m. Queima muito superficial. Sem crestamento.
17 - 60	Ótima variação. Comprimento das chamas de 0,3 a 0,9 m. Altura de crestamento geralmente menor que 4,5 m . Poucas chances do fogo ultrapassar as linhas de controle.
61 - 100	Muito quente para povoamentos jovens. Comprimento das chamas de 0,9 a 1,1 m. Altura de crestamento entre 4,5 e 9 m. A linha de controle deve ser alargada com queima contra o vento antes de iniciar a queima da área para prevenir dificuldades de controle do fogo.
101 - 165	Limite máximo de intensidade de queima. Comprimento das chamas geralmente abaixo de 1,7 m. Altura de crestamento pode ser excessiva mesmo com vento constante. Pense duas vezes ao fazer uma queima com tal intensidade. Deve-se ter equipamento mecanizado de controle de fogo preparado.

BYRAM (1959) relacionou a intensidade do fogo com o comprimento das chamas através da seguinte equação:

$$I = 63,05 \cdot F_L^{2,17}, \text{ onde:}$$

$I$  = intensidade do fogo, em kcal. m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>;

$F_L$  = comprimento da chama, em m.

O comprimento da chama é definido como a distância entre o solo ou a superfície do combustível e a ponta da chama, medido no meio de sua zona ativa (Figura 4, página 44).

Embora o comprimento da chama proporcione uma boa estimativa da intensidade do fogo, sua obtenção é dificultada pelo fato da chama ser um fenômeno pulsante, ao acaso e extremamente transitório (JOHNSON, 1982). Uma variável mais fácil de ser medida e que tem sido utilizada por alguns pesquisadores para estimativa da intensidade do fogo é a altura de carbonização da casca das árvores (CAIN, 1984; TOZZINI & SOARES, 1987). Determina-se a altura de carbonização da casca da árvore medindo-se a porção vertical da casca da árvore que ficou enegrecida pelo fogo. BATISTA *et al.* (1993) verificaram, no entanto, que há uma variação significativa dessa estimativa em função da técnica de queima utilizada.

### 2.3.2. Tempo de residência (duração do fogo)

A duração da combustão sobre uma determinada área tem um efeito muito significativo em relação ao dano à vegetação viva e a profundidade de penetração do calor no solo (McARTHUR & CHENEY, 1966).

Tempo de residência é o espaço de tempo que a frente de fogo leva para passar por determinado ponto. Pode-se medir o tempo de residência através do monitoramento da temperatura da superfície do material combustível. Neste caso o tempo de residência é o tempo decorrido entre o aumento significativo da temperatura e o seu decréscimo até os níveis

anteriores. Pode-se estimar o tempo de residência através da velocidade de propagação do fogo e da profundidade da chama, mediante a seguinte equação (ROTHERMEL & DEEMING, 1980):

$$t_r = p / r \text{ onde,}$$

$t_r$  = tempo de residência, em min;

$p$  = profundidade da chama, em m;

$r$  = velocidade de propagação do fogo, em  $m \cdot \text{min}^{-1}$ .

Pode-se obter uma estimativa do tempo de residência em função do diâmetro médio das partículas do material combustível. Conforme ANDERSON<sup>8</sup> (1969) citado por ROTHERMEL (1983), o tempo de residência em materiais combustíveis dispostos uniformemente é equivalente a 3,15 vezes o diâmetro médio destes materiais. A estimativa proposta por Anderson é a seguinte:

$$t_r = 3.15 * d \text{ onde,}$$

$t_r$  = tempo de residência, em min;

$d$  = diâmetro médio do material combustível, em cm.

O tempo de residência pode ser estimado também em função do calor liberado e intensidade de reação do fogo, mediante a expressão (ROTHERMEL, 1983):

$$t_r = H_a / I_r \text{ onde:}$$

---

<sup>8</sup> ANDERSON, H. E. Heat transfer and fire spread. **Res. Pap.**, Ogden, U.S.D.A. Forest Service, INT-69, 20 p., 1969.

$t_r$  = tempo de residência, em s;

$H_a$  = calor liberado, em kcal.m<sup>-2</sup>;

$I_r$  = intensidade de reação, em kcal.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

O tempo de residência, ou o tempo de queima, depende da velocidade de propagação do fogo, da quantidade de material combustível disponível e da intensidade de reação do combustível. Portanto, para um determinado tipo de combustível está diretamente relacionado com a intensidade do fogo (McARTHUR & CHENEY, 1966).

### 2.3.3 Calor liberado por unidade de área

O calor liberado por unidade de área pode ser calculado através da intensidade do fogo e da velocidade de propagação, conforme ROTHERMEL & DEEMING (1980) e SOARES (1985):

$$H_a = I / r, \text{ onde:}$$

$H_a$  = calor liberado por unidade de área, em kcal.m<sup>-2</sup>;

$I$  = intensidade do fogo em, kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> ;

$r$  = velocidade de propagação do fogo, em m.s<sup>-1</sup>.

A equação mostra que para a mesma intensidade, quanto mais rápida a velocidade de propagação, menor quantidade de calor é direcionada para aquele local. Ao contrário, o fogo se propagando vagarosamente com a mesma intensidade irá concentrar considerável quantidade de calor neste local.

De acordo com DE RONDE *et al.* (1990), o calor por unidade de área pode ser diretamente calculado multiplicando-se o calor de combustão pela quantidade de combustível consumida. A forma como esta energia calórica é distribuída verticalmente numa área, depende das dimensões da chama. Chamas pequenas irão concentrar o calor próximo ao solo, enquanto chamas longas irão liberar calor um pouco acima da superfície do solo.

#### 2.3.4 Altura de crestamento

A altura de crestamento é frequentemente usada como o principal indicador do sucesso da queima. O crestamento torna-se óbvio logo após a queima, é fácil de medir, e pode resultar na redução do crescimento ou mesmo na morte da árvore (DE RONDE *et al.*, 1990).

SOARES (1985) define altura de crestamento como sendo a altura média de desidratação letal da folhagem da copa das árvores, devido aos gases aquecidos que sobem, provenientes da queima.

WAGNER (1973) estabeleceu a seguinte relação entre altura de crestamento e intensidade do fogo:

$$h_s = 0,385 I^{2/3}, \text{ onde:}$$

$h_s$  = altura de crestamento, em m;

$I$  = intensidade do fogo, em  $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ .

Incluindo os efeitos da velocidade do vento e a temperatura do ar, WAGNER conseguiu estabelecer a seguinte função estimativa da altura de crestamento :

$$h_s = 3,94 * I^{7/6} / (0,107 I + U^3)^{1/2} * (60 - T)$$

$h_s$  = altura de crestamento da copa, em metros;

$I$  = intensidade do fogo, em kcal.  $m^{-1}s^{-1}$ ;

$U$  = velocidade do vento, em  $m s^{-1}$ ;

$T$  = temperatura do ar, em  $^{\circ}C$ .

## 2.4 TÉCNICAS DE QUEIMA

Existem várias técnicas de queima que podem ser utilizadas para atender os objetivos propostos sob diferentes condições meteorológicas, de topografia e de material combustível. Os objetivos da queima e os fatores meteorológicos devem estar estreitamente correlacionados com a técnica de queima mais adequada, a fim de prevenir efeitos danosos aos recursos florestais. Além disso, as condições atmosféricas devem ser favoráveis para dissipar a fumaça nas camadas superiores do ar e afastá-las das áreas mais sensíveis, como rodovias, aeroportos e áreas urbanas (SOARES, 1985).

Tomando-se como base o comportamento do fogo e a velocidade de propagação, o fogo pode se deslocar na direção do vento (queima a favor do vento), na direção oposta ao vento (queima contra o vento) ou formando um ângulo reto com a direção do vento (queima de flancos).

A queima a favor do vento é a queima mais intensa, por apresentar as mais rápidas taxas de propagação, as mais amplas zonas de queima e os maiores comprimentos de chama. A queima contra o vento é a menos intensa, apresentando as menores taxas de propagação, uma estreita zona de queima e pequeno comprimento das chamas. A queima de flancos apresenta intensidade intermediária entre a queima a favor e a queima contra o vento (WADE & LUNSFORD, 1989).

A queima contra o vento consiste basicamente em fazer o fogo progredir na direção contrária ao vento ou no sentido descendente à inclinação. O fogo é iniciado ao longo de uma linha de base preparada, que pode ser uma estrada, um aceiro ou outra forma de barreira, e deixa-se que progrida contra a direção do vento (no sentido do declive). Esta técnica é o mais fácil e seguro tipo de queima controlada, desde que haja predominância de vento constante, tanto em direção como em velocidade, ou que haja terreno inclinado. A queima contra o vento produz mínimo crestamento e pode ser usada em altas concentrações de combustíveis. Algumas desvantagens são o tempo gasto na operação, devido as baixas velocidades de propagação, entre 0,0055 e 0,0166 m s<sup>-1</sup>, a necessidade de se construir aceiro no interior da área em intervalos frequentes, geralmente de 200 a 400 metros, para assegurar a queima das faixas. É necessário que haja vento com velocidade entre 6,5 e 16 km.h<sup>-1</sup> ao nível do solo, para que a fumaça seja bem dissipada e o calor não suba diretamente para as copas das árvores. Esta é a técnica recomendada para a primeira redução do material combustível sob povoamentos florestais, para áreas com grandes concentrações de combustíveis e para povoamentos jovens (BROWN & DAVIS, 1973; WADE & LUNSFORD, 1989; DE RONDE *et al.*, 1990).

A queima em faixas a favor do vento consiste em se colocar uma linha de fogo ou uma série de linhas de fogo numa área, de tal forma que nenhuma linha individual de fogo possa desenvolver alta intensidade antes de encontrar outra linha ou um aceiro. A distância entre as linhas de fogo depende das condições locais, mas geralmente varia de 20 a 40 metros. Compensações devido a mudança de direção do vento podem ser feitas alterando-se o ângulo da faixa de fogo com a linha básica. Também pode se fazer ajustes para a quantidade e arranjo do material combustível, alterando-se a distância entre as linhas de fogo. Este método é relativamente rápido, flexível e geralmente de custo moderado. Pode ser usado para reduções periódicas de combustível no interior de plantações, desde que a primeira redução tenha sido feita através da técnica contra o vento. As principais desvantagens da queima em faixas a favor do vento são a necessidade de acesso ao interior da área e o aumento da intensidade no

encontro das linhas de fogo, tornando maior a possibilidade de crestamento das copas (BROWN & DAVIS, 1973; WADE & LUNSFORD, 1989; DE RONDE *et al.*, 1990). Nesse caso também pode-se substituir o vento pela inclinação.

A técnica de queima de flancos consiste em acender linhas de fogo paralelas à direção do vento, de modo que o fogo se propague formando um ângulo reto com a direção do vento. Esta técnica requer conhecimento considerável do comportamento do fogo. Utiliza-se esta técnica para segurar o fogo lateralmente quando se usa outras técnicas. Alguma vezes se utiliza também para auxiliar a queima contra o vento em áreas de combustíveis finos em condições climáticas muito úmidas. Este método de queima não pode ser usado quando há alterações na direção do vento (BROWN & DAVIS, 1973; WADE & LUNSFORD, 1989; DE RONDE *et al.*, 1990).

BEAUFIT (1965) comparou características de queimas contra e a favor do vento em camadas de acículas de *Pinus ponderosa*. Os dados obtidos sob condições controladas de laboratório indicaram que as queimas contra o vento são mais lentas, mais prolongadas e mais profundas do que as queimas a favor do vento. Ele verificou também que a velocidade do vento tem um efeito marcante nas queimas a favor do vento, mas não altera significativamente a velocidade de propagação e outras características da queima contra o vento.

HOUGH (1968) obteve resultados semelhantes aos de BEAUFIT ao analisar 16 queimas a favor e contra o vento em povoamentos de *Pinus palustris* e *P. elliotii*. Ele verificou que, embora a redução de material combustível tenha sido similar nos dois tipos de queima, as queimas contra o vento consumiram mais serapilheira e menos combustível vegetal do que as queimas a favor do vento. As queimas contra o vento se propagaram mais lenta e profundamente no interior das camadas de serapilheira, enquanto as queimas a favor do vento se propagaram rapidamente e com frequência queimaram somente a camada superior da serapilheira.

De acordo com GREEN (1981), as queimas a favor do vento deslocam-se mais rapidamente e queimam mais áreas com maior intensidade e maior comprimento das chamas do

que as queimas contra o vento. Devido a isso, as queimas a favor do vento produzem maiores danos aos troncos do que as queimas contra o vento. Ainda segundo o mesmo autor a queima contra o vento necessita de combustíveis finos contínuos e uniformes para se propagar. Devido a taxa de propagação, altura da chama e liberação de energia serem muito menores do que na queima a favor do vento, a queima contra o vento produz menos danos às copas das árvores e deve ser usada quando se deseja proteger as coníferas e outras espécies durante a queima. No entanto, se existem acumulações ao redor das bases das árvores, a queima contra o vento pode queimar profundamente por um longo período de tempo, provocando a morte ou dano às árvores. Para prevenir isto, a queima deve ser feita quando a sub-superfície da serapilheira estiver úmida.

SACKETT (1975) testou queimas controladas em povoamentos de *Pinus palustris* e *P. taeda* no norte da Flórida e no Sudeste da Carolina da Sul. Os resultados indicaram que queimas a favor do vento reduzem combustíveis aéreos melhor e permitem que mais área seja queimada num determinado período de tempo. As queimas contra o vento eliminam mais serapilheira.

## 2.5 EFEITOS DO FOGO

No passado, a tendência dos pesquisadores florestais era tratar o fogo como um agente quase que inteiramente destrutivo com poucos ou nenhum aspecto benéfico. O desenvolvimento do interesse pela queima controlada como um instrumento das práticas silviculturais, do manejo dos recursos florestais e para redução do risco de incêndios, tem provocado uma mudança desse conceito de modo que atualmente considera-se que os efeitos do fogo no ecossistema florestal são complexos e muitas vezes podem ser benéficos (SPURR & BARNES, 1975).

De uma maneira bem simplificada pode-se dizer que os efeitos diretos da combustão no ecossistema são: o consumo da matéria orgânica, a produção de calor - pela conversão de energia química em energia calórica, a liberação de nutrientes e de produtos da combustão. Como consequência desses efeitos diretos, os reflexos ou efeitos secundários serão observados em maior ou menor escala, dependendo da intensidade do fogo, nos diversos elementos do ecossistema, tais como: o solo e a vegetação (MARTIN *et al.*, 1977).

### 2.5.1 Efeitos sobre as árvores

O fogo afeta direta e indiretamente os ecossistemas através de um conjunto de inter-relações dos seus efeitos causados na vegetação, no microclima e no solo (BOTELHO & CABRAL, 1990).

Os danos causados à floresta pelo fogo dependem essencialmente da sua intensidade: sendo baixa, como na queima controlada, não a afeta significativamente; sendo moderada, podem ocorrer ataques de fungos e insetos devido à redução da resistência das árvores; quando a intensidade é alta resulta na morte das árvores (BOTELHO & CABRAL, 1990).

Como as árvores são os componentes mais valiosos do povoamento florestal, a estimativa de ocorrência e extensão dos danos pelo fogo deve ser um pré-requisito para o uso intencional do fogo nestas áreas. O fogo pode destruir parte de uma planta ou matar a planta inteira, dependendo da intensidade da queima e do tempo de exposição da planta à temperaturas elevadas. Além disso, características, tais como a espessura da casca e diâmetro do tronco influenciam a suscetibilidade da planta ao fogo (DE RONDE *et al.*, 1990).

Considerando-se que muitas variáveis controlam o crescimento da árvore, os resultados de diferentes estudos nos efeitos da queima controlada no crescimento são frequentemente conflitantes. Em geral, o fogo não é recomendado em povoamentos com *Pinus* menores do que 3,5 m de altura. Árvores pequenas são suscetíveis a crestamento das acículas e danos ao

tronco, que podem acarretar redução do crescimento ou morte da árvore. Quando os *Pinus* se tornam mais altos, suas gemas apicais e suas acículas são protegidas do calor do fogo e a casca geralmente é suficientemente espessa para isolar o câmbio. Se a queima controlada diminui a competição do sub-bosque ou aumenta a fertilidade do solo, as taxas de crescimento podem ser aumentadas (WALDROP *et al.*, 1987).

Um aumento no crescimento do DAP tem sido observado em árvores com parte da copa e dos galhos ou ramos inferiores queimados. Esta queima pode levar ao aumento da eficiência da copa, reduzindo a produção de semente e favorecendo a taxa de crescimento global (BOTELHO & CABRAL, 1990).

Segundo JOHANSEN (1975), o fogo parece influenciar o crescimento da árvore de duas maneiras: afetando a árvore diretamente e afetando o ambiente em que está estabelecida. O impacto nos tecidos da planta pode ser danoso. As células podem ser mortas nos tecidos do câmbio dos galhos principais, nas folhas e nas raízes próximas à superfície. Os efeitos sobre o ambiente de crescimento é menos óbvio. Depois da queima, o solo é geralmente mais rico em fósforo, cálcio e magnésio disponíveis, do que em solos não queimados e aumenta no solo a reação e a abundância de algas fixadoras de nitrogênio. Estes fatores podem favorecer o aumento do crescimento das árvores não danificadas pelo fogo. Analisando o crescimento de árvores de *Pinus elliotii* na Geórgia, JOHANSEN (1975) verificou que o nível de crestamento afetou o crescimento em altura em duas instâncias: onde o crestamento foi severo e onde foi quase inexistente. Naqueles locais onde o crestamento foi severo, o crescimento foi reduzido, enquanto naqueles locais onde o crestamento foi quase nulo houve um aumento significativo do crescimento.

FFOLLIOTT *et al.* (1977), analisando os efeitos da queima controlada em povoamentos de *Pinus ponderosa* no Arizona, observaram maior regeneração e estabelecimento de novos indivíduos nas áreas queimadas do que nas áreas não queimadas.

### 2.5.2 Efeitos no solo

O fogo converte a biomassa sólida em gases e vapor d'água e ao mesmo tempo libera grandes quantidades de energia, deixando no solo as cinzas com alta concentração de nutrientes. Portanto, o fogo afeta o solo de três maneiras:

- a) pela exposição, deixando-o descoberto;
- b) pelo aquecimento;
- c) pela liberação de nutrientes.

De acordo com DE BANO (1989), para a análise dos efeitos do fogo nos solos deve-se percorrer três estágios:

- 1º) caracterizar a intensidade do fogo;
- 2º) relacionar as intensidades do fogo com o aquecimento do solo;
- 3º) analisar as variações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo em resposta aos diferentes regimes de aquecimento do solo.

#### 2.5.2.1 Aquecimento do solo

Conforme WELLS *et al.*(1979), muitas das alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas que ocorrem durante uma queima ou incêndio estão relacionadas com o grau e duração do aquecimento do solo. A maior parte da energia liberada pela combustão da biomassa da planta e do piso florestal durante uma queima controlada ou um incêndio é perdida para o ar. No entanto, a energia transmitida para o interior do solo aquece e altera a serapilheira subjacente e o solo mineral. Se a camada orgânica da superfície é úmida e espessa, tal como se verifica em algumas florestas, ocorre muito pouco aquecimento do solo. No entanto, se a camada de serapilheira é seca e parcialmente ou inteiramente consumida no fogo, ou se a camada de serapilheira é fina, o solo pode ser aquecido substancialmente e altas

temperaturas são geradas no solo subjacente. A ignição da serapilheira da superfície e o aquecimento do solo mineral subjacente altera todas as propriedades físicas, químicas e biológicas dependentes da matéria orgânica do solo.

O grau de aquecimento do solo durante uma determinada queima é altamente variável e depende do tipo de combustível (herbáceas, arbustos, árvores), da intensidade do fogo (incêndio, queima controlada), da natureza da camada de serapilheira (espessura, conteúdo de umidade), e das propriedades do solo (matéria orgânica, água do solo, textura).

Na literatura pode-se encontrar várias informações sobre a temperatura da superfície e do interior do solo durante a passagem do fogo KARLIKOWSKI, 1983 ; DE BANO, 1988; GOLDAMMER, 1983a ).

De acordo com SOARES (1985), em incêndios florestais ou queimas controladas, as temperaturas da superfície do solo ou mesmo abaixo da superfície, dependem não apenas da intensidade, mas também do tempo de residência do fogo. Para uma mesma intensidade, quanto maior for a permanência do fogo num determinado local, maior será o aquecimento do solo.

De acordo com BROWN & DAVIS (1973), as temperaturas atingidas e o gradiente de temperatura no interior do solo dependem de vários fatores. A intensidade e duração do fogo, uma função dos combustíveis consumidos, é obviamente um fator controlador. Sempre que a manta orgânica do solo entra em combustão, isto intensifica o efeito. Duas queimas consumindo uma mesma quantidade de combustível - uma queimando sobre uma manta orgânica compactada, que é um pobre condutor de calor, e outra queimando em combustíveis dispersos diretamente no solo mineral descoberto diferenciam-se largamente em seus efeitos na temperatura do solo, mesmo que a energia total liberada tenha sido a mesma. A condutividade térmica do próprio solo é também importante.

FRANSEN & RYAN (1986) realizaram experimentos de queima em laboratório para determinar se uma fina camada de serapilheira de aproximadamente 2 cm reduz a transferência de calor para o interior do solo. Os resultados obtidos mostraram que nos solos cobertos com

2cm de serapilheira seca, os picos de temperatura foram reduzidos de 680 °C para 360 °C. Ao se umedecer a serapilheira obteve-se resultados semelhantes, com os picos de temperatura sendo reduzidos de 680 para 430 °C. Mas a maior redução foi obtida quando se umedeceu tanto o solo como a serapilheira. Neste último caso, os picos de temperatura foram reduzidos de 600 °C para 80 °C.

#### 2.5.2.2 Consumo de matéria orgânica e liberação de nutrientes

Diversas características do solo, tais como: estrutura, capacidade de troca de cátions, disponibilidade de nutrientes e atividade microbiológica, são altamente dependentes da matéria orgânica, que começa a se alterar quimicamente quando aquecida a 200 °C e é completamente consumida quando atinge 450 °C (DE BANO,1989).

A matéria orgânica do solo é também importante para manter a estabilidade dos agregados do solo e a estrutura que por sua vez afeta a infiltração e outras propriedades hidrológicas do solo, como por exemplo a repelência à água.

SOARES(1985) afirma que a amplitude de destruição da matéria orgânica pelos incêndios é basicamente função da intensidade e temperatura do fogo, do grau de incorporação da matéria orgânica ao solo e do tipo de vegetação existente antes da queima.

REGO *et al.* (1983), estudando os efeitos da queima controlada em povoamentos de *Pinus pinaster* em Portugal, verificaram uma redução acentuada da matéria orgânica após a passagem do fogo, nas áreas analisadas. Segundo os autores a variação da matéria orgânica é muito importante devido as consequências sobre as outras características do solo e também sobre a fauna do solo.

KUTIEL & NAVEH (1987) pesquisando sobre as propriedades do solo sob um povoamento misto de *Pinus halepensis* e *Quercus calliprinos*, em áreas queimadas e não queimadas, verificaram uma redução de cerca de 50% da matéria orgânica do solo, tanto sob

*Pinus* como sob *Quercus*. Já AUSTIN & BAISINGER (1955), analisando os efeitos da queima controlada em povoamentos de *Pseudotsuga menziesii*, verificaram uma redução de 75,5% da matéria orgânica do solo pelo fogo.

MCKEE (1982) estudando a variação da fertilidade do solo em povoamentos de *Pinus palustris*, *P.elliottii* e *P. taeda*, verificou uma redução no conteúdo de matéria orgânica do piso florestal mas não do solo mineral; ao contrário, observou um aumento, embora não estatisticamente significativo.

COVINGTON & SACKETT (1984) analisaram o efeito da queima controlada na matéria orgânica e nutrientes em restos lenhosos e serapilheira de povoamentos de *Pinus ponderosa* em São Francisco, EUA. Eles observaram que houve uma redução de 63% da matéria orgânica estocada nos restos lenhosos. A maior classe de diâmetro (> 7,6 cm) apresentou diferentes resultados, dependendo do seu estado de decomposição. O material lenhoso sadio teve uma redução de 14%, enquanto o material apodrecido tinha sido quase que completamente eliminado (redução de 99%). O conteúdo de matéria orgânica da serapilheira teve uma redução de 37% logo após a queima. Depois de 7 meses verificou-se que a redução tinha aumentado para 51% do total inicial.

MARTIN (1981) afirma que cerca de 60 a 80 % do nitrogênio existente no material combustível consumido pelo fogo é perdido para a atmosfera, mas geralmente aumenta a quantidade de nitrogênio sob a forma disponível para as plantas. SCHOCH & BINKLEY (1986) afirmam que as perdas de nitrogênio nas queimas controladas de média e alta intensidade em povoamentos de diversas espécies de pinus varia de 50 a 200 kg.ha<sup>-1</sup>.

DE BANO (1989) afirma que grandes quantidades de alguns nutrientes, tais como N, S e P podem ser volatilizados durante um incêndio. Cátions, tais como Ca, Mg, K e Na, não são volatilizados, embora pequenas quantidades possam ser transferidas do sítio pela fumaça.

SOARES (1990) analisou os efeitos da queima controlada em povoamentos de *Pinus caribaea* e *P. oocarpa*. Os resultados indicaram que a concentração do N na serapilheira foi reduzida em 44 e 39,2% e o P de 45 e 41,6%, respectivamente. Os outros elementos

analisados (K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e B) aumentaram suas concentrações após a queima, exceto o Ca no povoamento de *P. caribaea*. Todos os elementos disponíveis (mineralizados) aumentaram significativamente na camada superior do solo, após o fogo, retornando aos níveis anteriores após 7 meses.

VEGA *et al.* (1983) analisaram a variação da quantidade de nutrientes em áreas experimentais queimadas e não queimadas de *Pinus pinaster* e *Pinus radiata*. A análise dos dados mostrou que não houve grandes modificações no solo mineral devido as baixas intensidades do fogo e também porque os experimentos foram realizados numa estação em que o conteúdo de água nos combustíveis e no solo era relativamente alta. Houve uma queda na quantidade total de N e de matéria orgânica e um leve aumento nas concentrações de Ca, Mg, K e P, oito meses após a queima, embora não tenha sido verificada diferença significativa. Segundo os autores o pequeno aumento verificado foi devido a liberação de bases da vegetação e do material morto queimados.

MAAGS (1988) avaliou alguns efeitos da queima controlada em plantações de *Pinus elliottii* no sudoeste de Queensland, Austrália. Os resultados demonstraram que uma única queima controlada reduziu até 52% da biomassa total. A biomassa e as quantidades de N, P, Na e Mg foram significativamente menores no piso florestal queimado até 1,5-2,5 anos após a queima, mas as diferenças declinaram rapidamente, e após 3 anos nenhum efeito da queima ficou evidente. As quantidades de P e Ca não diferiram significativamente entre os tratamentos exceto para o Ca na primeira coleta após o fogo. As concentrações de Ca foram significativamente mais altas no piso florestal queimado até 1,5 ano após a queima, sugerindo que uma proporção significativa de Ca na serapilheira queimada foi liberado vagarosamente, comparado com outros nutrientes.

WALDROP *et al.* (1987) realizaram um estudo sobre os efeitos de longa duração das queimas controladas em florestas de *Pinus taeda* na Estação Florestal de Santee, em Berkley, e em Georgetown, desde 1946. Eles verificaram que embora as áreas estudadas tenham sido queimadas muitas vezes, não foram verificadas alterações adversas nas propriedades químicas

e físicas dos solos destas áreas. A produtividade do solo pode ter sido melhorada pelo aumento na disponibilidade de P, Ca trocável e matéria orgânica no solo mineral. O N total não foi reduzido pela queima. Todos os tratamentos de queima reduziram a espessura da camada orgânica do solo, mas raramente o solo mineral ficou exposto.

Quando a matéria orgânica do solo é queimada, as substâncias nela contidas são liberadas em forma de óxidos ou carbonatos que geralmente apresentam reação alcalina. Desse modo, quando as cinzas são depositadas sobre o solo, a tendência é diminuir a acidez. SOARES (1985) relata experimentos de queimas controladas onde a acidez foi reduzida em 2 a 3 unidades de pH, voltando ao normal 5 anos após a queima.

De acordo com WELLS *et al.* (1979), a acidez nas camadas superficiais do solo é reduzida pela queima, como um resultado dos cátions básicos liberados pela combustão da matéria orgânica e efeitos químicos do aquecimento sobre a matéria orgânica e os minerais. O pH do solo é elevado temporariamente dependendo da quantidade de cinzas liberada, do pH original do solo, da composição da cinza e da umidade do local.

#### 2.5.2.3 Propriedades do solo e erosão

O fogo influencia as propriedades físicas do solo e a erosão, dependendo da intensidade do fogo, da proporção de vegetação arbórea e de sub-bosque destruída, da quantidade de manta orgânica consumida, do aquecimento do solo, da proporção da área queimada e da frequência de ocorrência de queimadas ou incêndios (WELLS *et al.*, 1979).

De acordo com PRITCHETT (1979), os efeitos do fogo no solo são indiretos e frequentemente mal definidos. Se a maior parte da matéria orgânica é removida pela queima, a absorção e retenção de água pela camada de humus pode ser significativamente reduzida. A eliminação da manta orgânica resulta no aumento da evaporação. A temperatura mais alta nos solos queimados também eleva a evaporação. As cinzas e os materiais carbonizados podem

o escoamento superficial. O resultado líquido destas alterações pode ser uma redução na umidade disponível para as plantas e, em locais muito inclinados, uma perda de materiais do solo. PRITCHETT considera que o fogo geralmente afeta a erodibilidade do solo se o solo mineral é exposto, tanto por incêndios de grande intensidade como por repetidas queimas durante longos períodos. A porosidade e as taxa de infiltração decrescem e a densidade aumenta após os incêndios em muitos solos. Os agregados do solo são dispersos pelos golpes das gotas das chuvas e os poros podem ficar obstruídos pelas partículas de cinzas e outros materiais finos produzidos pelo fogo, diminuindo com isso os macroporos do solo, a infiltração e a aeração. A ação dos microorganismos e outros organismos da fauna do solo que contribuem para a porosidade do solo também podem ser significativamente reduzida em áreas frequentemente queimadas. PRITCHETT afirma que, além disso, a intensidade de erosão após o fogo depende da erodibilidade inerente do solo; do nível de inclinação; da duração, quantidade e intensidade das chuvas; da severidade do fogo, e da cobertura vegetal remanescente no solo.

#### 2.5.2.4 Organismos do solo

Os efeitos do fogo sobre os organismos do solo são variáveis, dependendo do sítio e da intensidade do fogo. De modo geral, incêndios de grande intensidade afetam os organismos dramaticamente.

VEGA *et al.* (1983) analisaram os efeitos da queima controlada na microflora do solo em povoamentos de *Pinus*, no noroeste da Espanha. Verificaram que, dois anos após a queima, as populações eram praticamente iguais nos locais onde a queima foi de baixa intensidade e levemente reduzidas nos locais onde a queima foi de moderada e alta intensidade.

A fauna do solo inclui aqueles animais que habitam o piso florestal e o solo mineral durante todo o ano. Muitos deles se movem entre os dois compartimentos, sendo que o

A fauna do solo inclui aqueles animais que habitam o piso florestal e o solo mineral durante todo o ano. Muitos deles se movem entre os dois compartimentos, sendo que o compartimento preferido depende do estágio de desenvolvimento e das condições ambientais. Os efeitos do fogo sobre os animais, portanto, depende de seu habitat e da sua mobilidade, bem como da tolerância dos organismos ao calor e à dissecação. Em queimas controladas, o calor do fogo pode ser menos importante na redução da população dos organismos do que as mudanças ambientais trazidas pela passagem do fogo (AHLGREN<sup>9</sup>, 1974, citado em PRITCHETT, 1979). A maioria dos organismos que vivem na camada superior do solo, até 2,5 cm do solo mineral, sobrevivem a queimas moderadas.

---

<sup>9</sup> AHLGREN, I.F. The effect of fire on soil organisms. In: KOZLOWSKI, T.T. and AHLGREN (ed.). **Fire and Ecosystems**. New York: Academic Press, 1974, p.47-72.

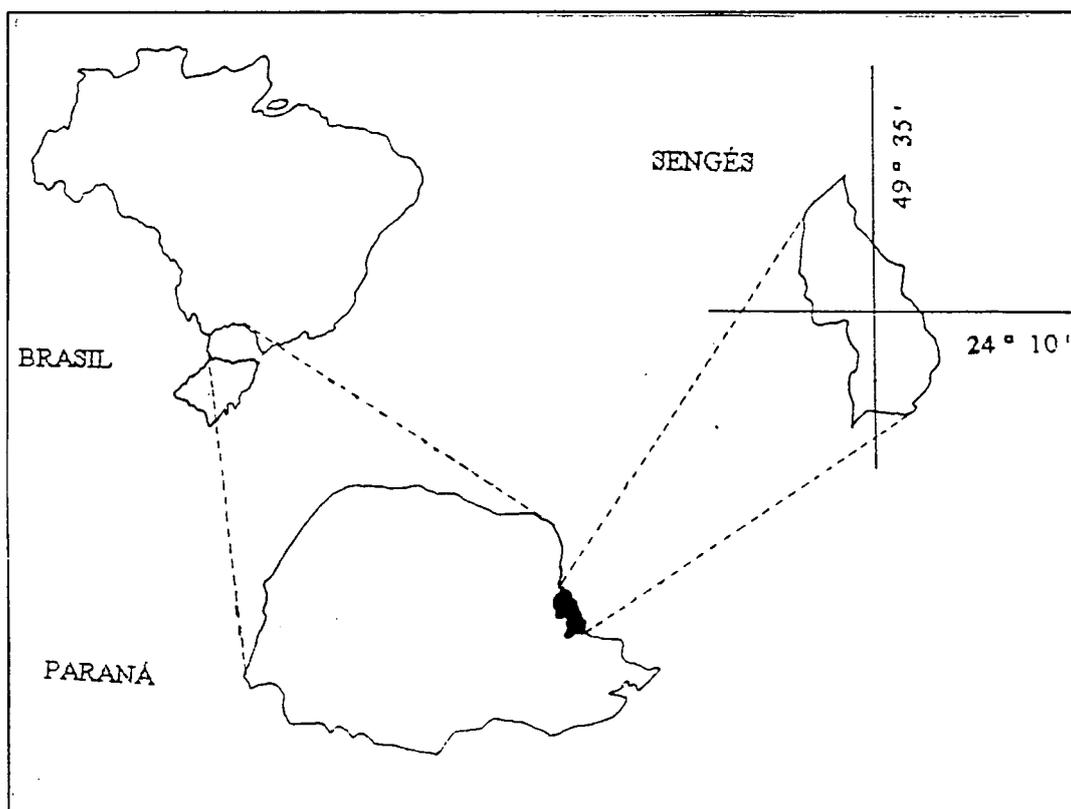
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

##### 3.1.1 Localização

O experimento foi realizado em uma plantação de *Pinus taeda* L. de propriedade da PISA Florestal S.A., localizada no município de Sengés-Paraná, situada a  $24^{\circ} 10'$  de latitude sul e  $49^{\circ} 35'$  de longitude oeste de Greenwich, distante 280 km da cidade de Curitiba. A altitude média é de 960 metros s.n.m.

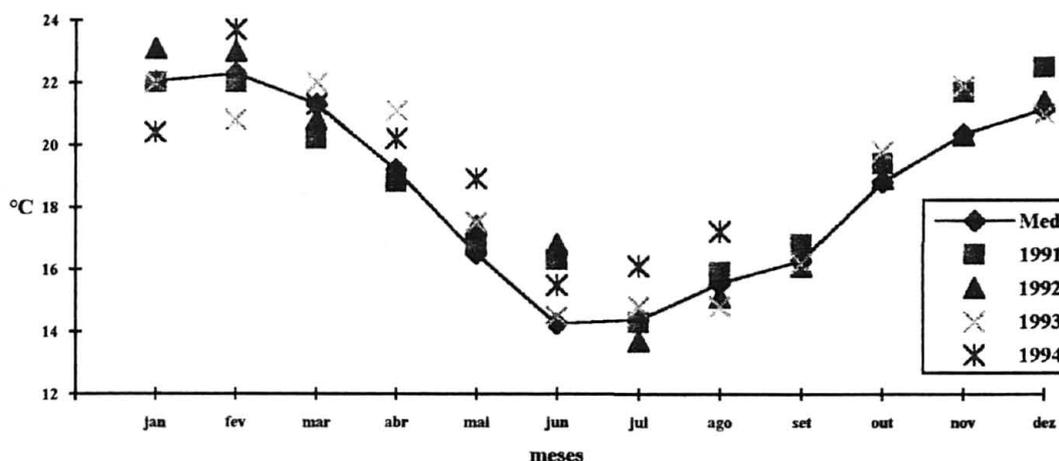
FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SENGÉS EM RELAÇÃO AO BRASIL E AO PARANÁ.



### 3.1.2 Clima

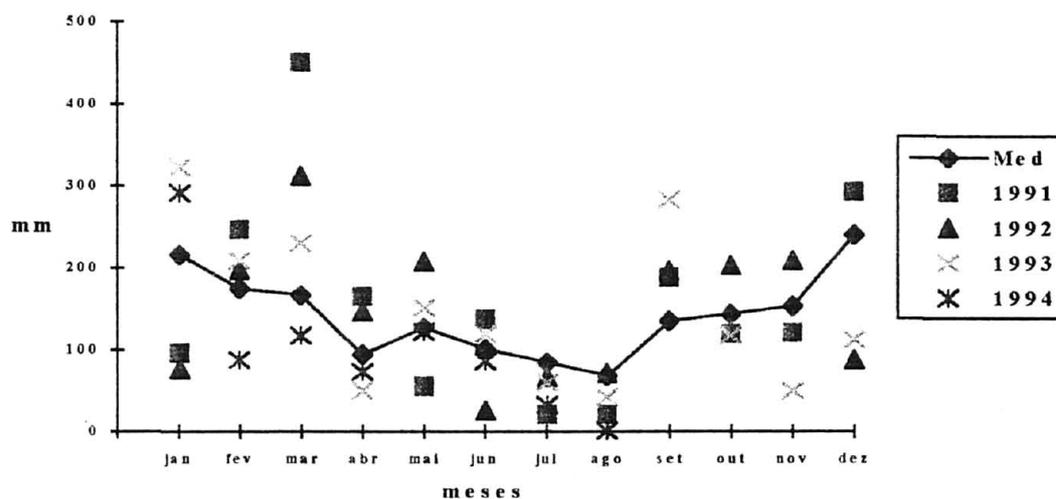
Segundo a classificação de Koeppen, o clima é caracterizado como **Cfb**, sempre úmido, com o mês mais quente apresentando temperatura inferior a 22°C, onze meses com temperatura superior a 10°C e com mais de cinco geadas por ano (MAACK, 1968). No entanto, analisando os dados de 20 anos (1975 a 1994), obtidos na estação localizada na sede da Fazenda Capivari, município de Sengés (Figura 2) observa-se que a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C, caracterizando o clima como **Cfa**. Isto ocorre porque o município de Sengés situa-se no limite de ocorrência dos climas Cfa e Cfb (PARANÁ, 1987).

FIGURA 2. TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS DOS ANOS DE 1991 A 1994 E MÉDIAS MENSAIS DE 20 ANOS (1975 A 1994) - SENGÉS-PR..



A Figura 3 mostra a distribuição das precipitações médias mensais dos anos de queima e médias mensais do período de 20 anos, de 1975 a 1994, para a região de estudo.

FIGURA 3. PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS DOS ANOS DE 1991 A 1994 E DE UM PERÍODO DE 20 ANOS (1975 A 1994) - SENGÉS-PR.



De acordo com MAACK (1968), a predominância da direção dos ventos é dos quadrantes sulinos, com 38.1 %, que segundo o autor são os ventos que desfazem as chuvas. Os ventos que sopram dos quadrantes norte perfazem 29.2 % e são os causadores de chuva. Há também 23.2 % de calmarias.

### 3.1.3 Solo

Para caracterização do solo da área do experimento, foi aberta uma trincheira para análise do perfil sendo o solo classificado pelos Professores Dr. Arthur Santos Filho e Dr. Carlos Bruno Reissmann (SCA/UFPR) como do tipo **Cambissolo Tb álico A moderado, textura média**. Este resultado está de acordo com o mapeamento de solos para aquela região (IBGE, 1990).

### 3.1.4 Vegetação

A região fitogeográfica enquadra-se, utilizando o sistema fitofisionômico-ecológico proposto pelo IBGE (1990), como Savana Arbórea Aberta. Esta tipologia concentra-se principalmente nas proximidades de Itararé (SP) e Jaguariaiva e Tibagi no Paraná. São formações típicas de Savana (cerrado) constituindo disjunções ou áreas de contato com as regiões das Florestas Ombrófila Mista e Estacional Semidecidual. Apresenta, normalmente, um estrato arbóreo-arbustivo esparso, perenifoliado e com características de escleromorfia oligotrófica, sob o qual se desenvolve um estrato descontínuo de plantas hemicriptófitas, caméfitas e geófitas. No primeiro estrato encontram-se frequentemente o barbatimão (*Stryphnodendron barbadetiman*), o angico (*Anadenanthera peregrina*), o barbatimão-da-folha-miúda (*Dimorfandra mollis*), o mercúrio-do-campo (*Erythroxylum suberosum*), o pau-d'óleo (*Copaifera longsdorffii*), o cinzeiro (*Vochysia tucanorum*) e o saco-de-boi (*Kielmeyera coriacea*), além de outras espécies. O estrato inferior compõe-se principalmente de *Andropogon* spp., *Aristida* spp., *Brisa* spp., *Poidium* spp., *Axonopus* spp., *Tristachya* sp (capim-limão) e representantes das liliáceas, amarilidáceas, iridáceas e compostas (IBGE, 1990).

MAACK (1968) descreve estas formações como campo cerrado ou estepe arbustiva, desenvolvendo-se lentamente a partir das áreas livres de campos limpos, nas altitudes de 730 a 1100 metros acima do nível do mar, sendo que as cidades de Jaguariaiva e Sengés localizam-se em meio destes campos cerrados.

### 3.1.5 Características do povoamento.

O experimento foi feito em uma área de *Pinus taeda* L. do talhão 38 do projeto Mocambo VII, entre as cotas 860 e 830 m acima do nível do mar, com uma inclinação de aproximadamente 20 %.

O plantio foi efetuado em 1977/1978, com espaçamento inicial de 2 X 2,5 m. No ano de 1991 o povoamento se encontrava com 13 anos, não tinha sofrido nenhum desbaste e apresentava altura média de 15,5 m e DAP médio de 19,5 cm.

Para comprovação da espécie *Pinus taeda* foram coletadas amostras de material fértil, as quais foram encaminhadas ao laboratório de Dendrologia do Departamento de Silvicultura e Manejo da Universidade Federal do Paraná para identificação. A duplicata do material encontra-se catalogada e arquivada no Herbário "Escola de Florestas Curitiba" (EFC) sob registro N° 3777.

### 3.2 DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O delineamento estatístico utilizado foi de blocos ao acaso, com 4 repetições, cada uma contendo 7 parcelas, representando os tratamentos. Utilizaram-se parcelas retangulares de 1000 m<sup>2</sup>, com dimensões de 20 por 50 metros. Os tratamentos foram:

- Tratamento 1 (T1) - queima anual contra o vento;
- Tratamento 2 (T2) - queima bianual contra o vento;
- Tratamento 3 (T3) - queima trienal contra o vento;
- Tratamento 4 (T4) - queima anual a favor do vento;
- Tratamento 5 (T5) - queima bianual a favor do vento;
- Tratamento 6 (T6) - queima trienal a favor do vento;
- Tratamento 7 (T7) - Testemunha.

Ao se efetuar a análise de variância, não havendo diferença significativa entre os blocos, efetuava-se nova análise utilizando-se o delineamento inteiramente ao acaso com os mesmos tratamentos e 4 repetições, aumentando-se o grau de liberdade do resíduo.

### 3.3 TÉCNICAS DE QUEIMA

Foram aplicadas duas técnicas básicas de queima:

I - Queima contra o vento - A inclinação foi usada para simular o efeito do vento. A queima foi realizada de forma que a linha de fogo progredisse no sentido descendente à inclinação do terreno, proporcionando baixa velocidade de propagação e reduzida intensidade do fogo;

II - Queima a favor do vento - Também aqui a inclinação foi usada em lugar do vento. A queima foi realizada de forma que a linha de fogo progredisse no sentido ascendente à inclinação do terreno, proporcionando a intensidade média desejada.

As linhas de fogo eram acesas pelo lado de 50 metros de cada parcela, utilizando-se acendedor do tipo "Pinga-fogo", a partir do aceiro. Desta forma, o fogo percorria a largura da parcela, ou seja, 20 metros.

### 3.4 OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados necessários para realização do trabalho foram obtidos de diversas formas durante os quatro anos de experimento, de 1991 a 1994.

O inventário do material combustível foi realizado anualmente, antes e depois da queima. Normalmente, realizava-se o levantamento uma semana antes da data prevista para a queima e na semana imediatamente após a queima.

Os dados meteorológicos e a previsão do tempo necessários para estabelecer a data da realização da queima eram obtidos da estação meteorológica do Capivari, pertencente a empresa, mais próxima ao projeto Mocambo VII e também no próprio local, nos dias de queima.

Os dados referentes ao comportamento do fogo foram medidos durante a queima de cada parcela.

A medição da altura de carbonização da casca das árvores foi feita apenas após a queima de 1991.

Para o acompanhamento do incremento das árvores durante o período do experimento, foram feitas medições anuais do diâmetro e altura das árvores das 28 parcelas, durante os meses de inverno.

Para avaliação dos efeitos sobre o solo foram estabelecidos 5 pontos amostrais numa parcela previamente selecionada. Após a passagem do fogo (queima de 1993) foram abertos microperfis e coletado material para posterior análise química em laboratório.

#### 3.4.1 Material Combustível ( w )

Para determinação da quantidade do material combustível foi feito inventário do material existente antes e depois de cada queima. O inventário era assim realizado:

- Em cada parcela estabeleciam-se 4 amostras de 1 m<sup>2</sup> cada uma, de onde o material era coletado separadamente em 4 categorias: acículas, material com diâmetro entre 0 e 0,7cm (classe 1), material com diâmetro entre 0,7 e 2,5cm (classe 2) e material com diâmetro entre 2,5 e 7,6cm (classe 3). Em seguida determinava-se o peso do material em cada classe. De cada classe de material, em cada amostra, separava-se uma pequena sub-amostra que era pesada, identificada, embalada em saco plástico e levada para o laboratório de Proteção Florestal do Departamento de Silvicultura e Manejo da UFPR. No laboratório o material era seco em estufa, a uma temperatura de ± 75°C por 48 horas., determinando-se em seguida o seu peso. Através da diferença entre o peso da sub-amostra no campo (P.U.) e o seu peso depois de seca em estufa (P.S.), obtinha-se o teor de umidade do material, ou seja:

$$U\% = (P.U. - P.S./ P.S) * 100$$

Deste modo, conhecendo-se o teor de umidade de cada classe de material, calculava-se a quantidade total de material seco por amostra e por parcela. Com esse procedimento determinava-se a quantidade de material combustível antes e depois de cada queima. Determinando-se a diferença entre a quantidade de material antes e depois da queima obtinha-se a quantidade de material combustível consumida na queima, ou seja, a quantidade de material combustível disponível.

A determinação da espessura da serapilheira era feita nas amostras de 1 m<sup>2</sup>, utilizadas para amostragem da quantidade de material combustível. Em cada lado da amostra efetuava-se um corte com facão bem afiado na serapilheira e media-se a espessura total e os horizontes L e F com uma régua graduada com precisão de milímetros.

Para estimativa do conteúdo de umidade do material combustível no momento da queima, utilizaram-se dois métodos. Para a classe de material de 0 a 0,7 cm de diâmetro e de acículas da parte superior da serapilheira o conteúdo de umidade (UBEH) usou-se uma tabela de dupla entrada, umidade relativa (UR) e temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), mediante metodologia proposta por ROTHERMEL (1983) para combustíveis de 1 hora de tempo de resposta. A umidade do horizonte orgânico F (UF) foi obtida através da umidade relativa e temperatura do ar, mediante o ajuste de uma função do tipo  $Y = EXP(a + bX)$ .

#### 3.4.2 Dados Meteorológicos

Na estação Meteorológica do Capivari eram tomadas todas as leituras meteorológicas diariamente. Esses valores são utilizados pela empresa para o cálculo diário do Índice de Perigo de Incêndios (FMA) e para tomada de decisões sobre planejamento e controle de incêndios para a região onde se situa o projeto Mocambo. A empresa também recebe quinzenalmente informações sobre previsão de chuvas e movimento de massas de ar do Instituto Mitsui do Japão. Essas informações foram utilizadas para estabelecer a data ideal da realização da queima.

No dia em que se realizava a queima, a temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade e direção do vento eram monitoradas a cada hora na própria área do experimento, utilizando-se instrumentos meteorológicos portáteis do "FIRE WEATHER KIT".

### 3.4.3 Comportamento do fogo

Dos parâmetros utilizados para avaliação do comportamento do fogo, alguns foram obtidos diretamente no momento da queima, enquanto outros foram estimados indiretamente através de funções específicas.

#### 3.4.3.1 Velocidade de propagação do fogo ( $r$ )

A velocidade de propagação do fogo pode ser estimada de várias formas, embora complexas. No entanto, a sua determinação em campo é extremamente simples. Nesse caso, a determinação da velocidade de propagação em cada parcela foi feita cronometrando-se o tempo gasto pela linha de fogo para percorrer a extensão total da parcela, ou seja 20 metros. Por exemplo, se o tempo necessário para que a linha de fogo chegasse ao fim da parcela fosse 20 minutos, a velocidade de propagação do fogo nessa parcela seria igual  $20\text{m}/20\text{minutos}$ , ou  $0,0166\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### 3.4.3.2 Intensidade do fogo ( $I$ )

Para estimar a intensidade do fogo utilizou-se a equação de Byram (BROWN & DAVIS, 1983):

$$I = H * w * r , \text{ onde:}$$

$I$  = intensidade do fogo , em  $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ;

$H$  = calor de combustão do material combustível, em  $\text{kcal.kg}^{-1}$ ;

$w$  = quantidade de material combustível, em  $\text{kg.m}^{-2}$ ;

$r$  = velocidade de propagação do fogo, em  $\text{m.s}^{-1}$ .

A forma de obtenção das variáveis  $w$  e  $r$  já foi discutida anteriormente. O calor de combustão do material combustível ( $H$ ) é uma característica da espécie e do tipo de material combustível. Além disso, varia de acordo com o conteúdo de umidade do material. Para este trabalho foram utilizados os valores encontrados por SOARES & HAKKILA(1984) para *Pinus taeda* em Telêmaco Borba-Pr. Os valores utilizados , por classe de material foram:

<b>Classe de material</b>	<b>Poder calor. Efetivo (<math>\text{kcal.kg}^{-1}</math>)</b>
<b>Acículas</b>	4703,63
<b>Diâmetro 0 a 0,7 cm</b>	4665,39
<b>Diâmetro 0,7 a 2,5 cm</b>	4577,00
<b>Diâmetro 2,5 a 7,6 cm</b>	4534,00

Como os valores obtidos em laboratório são para o material seco, para se obter o calor de combustão do material úmido utilizou-se a seguinte fórmula (SOARES, 1985):

$$H_w = H_d * ((100 - U/7)/(100 + U)), \text{ onde:}$$

$U$  = teor de umidade do material, em %;

$H_w$  = calor de combustão do material úmido, em  $\text{kcal.kg}^{-1}$ ;

$H_d$  = calor de combustão do material seco, em  $\text{kcal.kg}^{-1}$ .

### 3.4.3.3 Altura de crestamento

A altura de crestamento foi estimada através da seguinte equação (WAGNER, 1973):

$$h_s = (3,94 * I^{7/6}) / ((0,107 I + U^3)^{1/2} * (60 - T)), \text{ onde:}$$

I = intensidade do fogo, em kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>;

U = velocidade do vento, em m.s<sup>-1</sup>;

T = temperatura do ar, em °C;

h<sub>s</sub> = altura de crestamento, em m.

### 3.4.3.4 Calor liberado por unidade de área

O calor liberado por unidade de área foi calculado através da intensidade do fogo e da velocidade de propagação, mediante a relação (ROTHERMEL & DEEMING, 1980):

$$H_a = I / r, \text{ onde:}$$

H<sub>a</sub> = calor liberado por unidade de área, em kcal.m<sup>-2</sup>;

I = intensidade do fogo, em kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>;

r = velocidade de propagação do fogo, em m.s<sup>-1</sup>.

### 3.4.3.5 Tempo de residência

A estimativa do tempo de residência do fogo foi feita em função do calor liberado e da intensidade de reação, mediante a seguinte relação (ROTHERMEL, 1983):

$$t_r = H_a / I_r, \text{ onde:}$$

$t_r$  = tempo de residência, em min;

$H_a$  = calor liberado, em kcal.m<sup>-2</sup>;

$I_r$  = intensidade de reação, em kcal.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

A forma de obtenção do calor liberado já foi mencionada no item anterior. Para obtenção da intensidade de reação utilizou-se o programa BEHAVE, desenvolvido para estimativa do comportamento do fogo (ANDREWS, 1986), cujas variáveis básicas utilizadas (input) foram: tipo e umidade do material combustível, declividade e velocidade do vento.

### 3.4.3.6 Temperatura durante a passagem do fogo

Durante a passagem da frente de fogo, na parte central de cada parcela foram instalados sensores térmicos para determinação da temperatura com termopar marca Technoterm tipo 56.9420, alimentado com bateria de 12 volts, com termoelementos NiCr-Ni. Os sensores eram colocados em três posições: sob a serapilheira (entre o horizonte L e F), na superfície do piso florestal e a 1 metro de altura. As temperaturas eram monitoradas assim que a frente de fogo se aproximava do sensor até atingirem o valor máximo e retornarem próximo ao valor inicial. Durante as queimas do ano de 1994 não foi possível medir as temperaturas durante a passagem do fogo devido ao mal funcionamento do equipamento no dia da queima.

#### 3.4.4 Dados do Povoamento

Para o acompanhamento do incremento do povoamento foram feitas medições anuais do perímetro a altura do peito (PAP) de todas as árvores e altura total de 50 árvores de cada parcela. As alturas das demais árvores foram estimadas utilizando-se a relação hipsométrica:  $h = f(dap)$ . Foram testados quatro modelos:

$h - 1.3 = (D^2) / (b_0 + b_1D + b_2D^2)$ , proposto por PRODAN em 1944 (LOETSCH *et al.*, 1973);

$h = b_0 + b_1 \log D$ , proposto por HENDRICKSEN em 1950 (HUSCH *et al.* 1982);

$h = (1 / (b_0 + b_1(1/D)^3) + 1.3$ , proposto por PETERSON em 1955 (LOETSCH *et al.*, 1973);

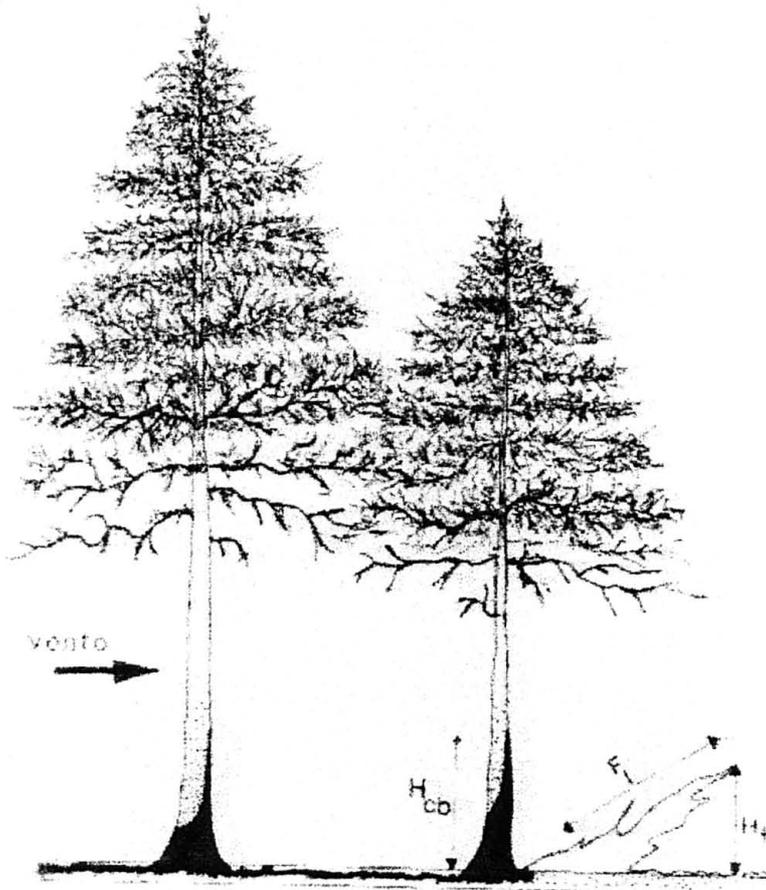
$h = b_0 * D^{b_1}$ , proposto por STOFFELS e Van LOEST em 1953 (HUSCH *et al.*, 1982).

O modelo mais adequado para cada tratamento foi selecionado através dos parâmetros coeficiente determinístico ( $R^2$ ), erro padrão da estimativa e distribuição dos resíduos.

#### 3.4.5 Altura de carbonização da casca

Após a realização da primeira queima em 1991, foi possível medir a altura de carbonização da casca das árvores nas parcelas queimadas. A altura de carbonização da casca foi determinada medindo-se a porção da casca da árvore que ficou enegrecida pelas chamas durante a passagem do fogo (FIGURA 4). Em cada parcela mediu-se a altura de carbonização de 40 árvores das duas fileiras centrais utilizando-se a média destas como a altura média para a parcela.

FIGURA 4. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ALTURA DE CARBONIZAÇÃO DA CASCA DAS ÁRVORES ( $H_{CB}$ ), ALTURA ( $H_f$ ) E COMPRIMENTO DAS CHAMAS ( $F_L$ ) EM UM POVOAMENTO DE PINUS, DURANTE UMA QUEIMA.



### 3.4.6 Dados do solo

Para a avaliação do solo foram tomados 5 pontos amostrais numa parcela previamente selecionada. Em cada um destes pontos foram estabelecidas 2 amostras, cada uma recebendo um tratamento: queimado e não queimado.

Após a passagem do fogo foram abertos microperfis no solo, em cada amostra. Em cada microperfil, o material foi coletado nas seguintes camadas de solo:

- serapilheira recém-caída (L);
- serapilheira semi-decomposta (F);
- Camada de solo da profundidade de 0 a 5cm;
- Camada de solo da profundidade de 5 a 10 cm;
- Camada de solo da profundidade de 10 a 15 cm;
- Camada de solo da profundidade de 15 a 20 cm.

O material da serapilheira foi analisado no laboratório de nutrição de plantas e as amostras dos horizontes do solo no laboratório de química e fertilidade do solo do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná.

Na serapilheira foram analisados nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), de acordo com metodologia proposta por HILDEBRAND (1976).

Para as amostras de solo procedeu-se uma análise química de rotina (EMBRAPA, 1979).

### 3.5 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

No levantamento do material combustível utilizou-se um formulário específico para facilitar a anotação do peso do material por classe, no campo e no laboratório. O modelo de formulário utilizado no levantamento de material combustível encontra-se no anexo 1B.

Para as queimas organizou-se também uma ficha individual para cada parcela a ser queimada. Nesta ficha anotavam-se detalhadamente todos os dados referentes a queima, antes durante e após a passagem do fogo. O modelo de ficha utilizada encontra-se no anexo 1A.

Para o levantamento dos dados dendrométricos também foram utilizadas fichas específicas para anotação do CAP e  $H_{total}$  das árvores de cada parcela. O modelo de ficha para anotação dos dados dendrométricos encontra-se no anexo 1C.

Depois de montadas as matrizes com todas as variáveis, procedeu-se a análise estatística dos tratamentos. Os testes estatísticos empregados foram:

- Análise de variância (ANOVA);
- Análise de regressão;
- Teste de comparação de médias SNK para mais de duas médias;
- Teste "T" para comparação de duas médias;
- Análise de correlação.

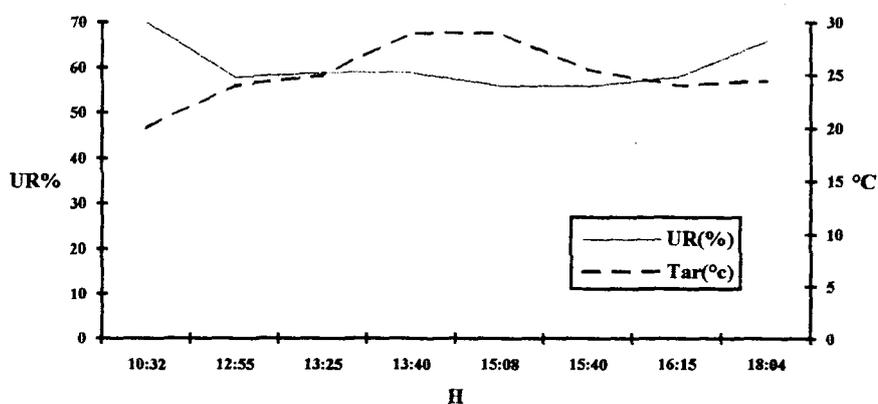
O nível de significância utilizado nos testes estatísticos foi de 95%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DESCRIÇÃO DAS QUEIMAS

A queima do ano de 1991 foi realizada nos dias 28 e 29 de novembro, após um período de 13 dias sem chuva. No dia 28 os trabalhos tiveram início às 10:30 h e se encerraram às 18:00 h. Nesse dia foram queimadas 9 parcelas. A umidade relativa (UR) e a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) mantiveram-se estáveis durante o dia. A UR estava em 70% pela manhã, ficando abaixo de 60% durante a maior parte do dia. A  $T_{ar}$  estava em torno de 20° C pela manhã, e flutuou entre 25 e 30° C durante todo o dia (Figura 5). No interior do povoamento o vento se manteve calmo, não influenciando a queima. O fogo progrediu satisfatoriamente em todas as parcelas, de tal modo que só era acesa uma única linha de fogo ao longo do aceiro de 50 m, deixando que esta percorresse a largura total da parcela (20m) até chegar ao outro aceiro de 50m. Em nenhum momento o fogo esteve fora de controle. A velocidade de propagação neste dia variou entre 0,003 e 0,021 m.s<sup>-1</sup> e a intensidade entre 3,07 e 41,76 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.

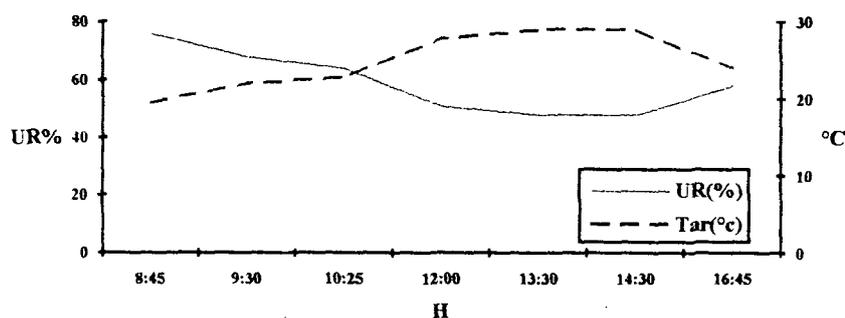
FIGURA 5. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E DA TEMPERATURA DO AR ( $T_{ar}$ ) DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 28/11/91.



No dia 29 os trabalhos recomeçaram às 8:30 h da manhã. Neste momento a UR era de 76% e a  $T_{ar}$  19,5° C. Ao longo do dia a UR foi decrescendo, atingindo a mínima de 48%

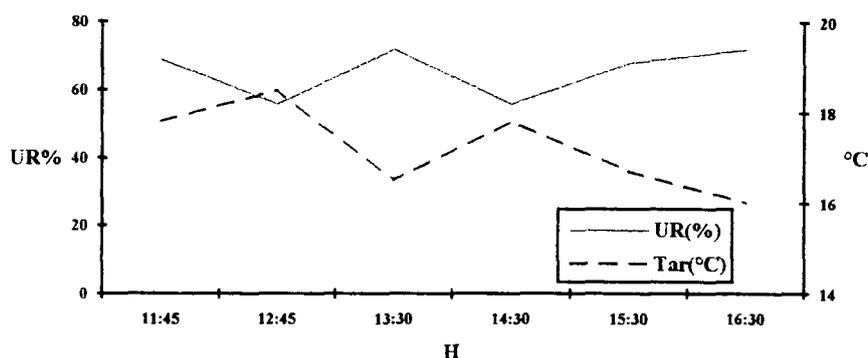
próximo às 14:00 h e recomeçando a subir a partir deste ponto. A  $T_{ar}$  seguiu o caminho inverso da UR, chegando ao máximo às 14:00 h e a partir daí começou a decrescer (Figura 6). O vento se manteve calmo durante a maior parte do dia, não influenciando as queimas. A velocidade de propagação do fogo variou entre 0,003 e 0,01  $m.s^{-1}$  e a intensidade entre 1,1 e 47  $kcal.m^{-1}.s^{-1}$ .

FIGURA 6. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E DA TEMPERATURA DO AR ( $T_{ar}$ ) DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 29/11/91.



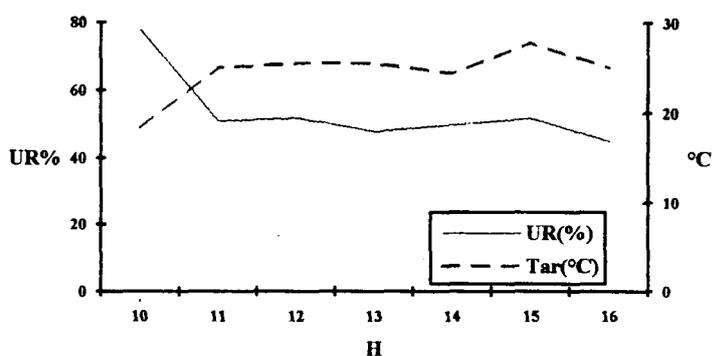
De acordo com o cronograma e o delineamento experimental proposto, no ano de 1992 foram queimadas apenas 8 parcelas relativas à queima anual. Os trabalhos foram realizados no dia 18 de junho, já no início do inverno, começando às 11:45 h e encerrando às 17:00 h. Neste dia a atmosfera estava calma (sem ventos), o céu limpo e há 15 dias não chovia. A  $T_{ar}$  se manteve entre 16 e 18,5° C, enquanto a UR variou entre 72 e 44% (Figura 7). Embora todas as condições estivessem propícias, a queima não foi satisfatória. Nas parcelas onde a queima era contra o vento, a linha de fogo progredia muito lentamente, chegando a extinguir-se diversas vezes. Foi necessário reacender as linhas frequentemente. Nas parcelas queimadas a favor do vento a linha de fogo progredia mais regularmente, embora fraca. A velocidade de propagação do fogo variou entre 0,004 e 0,007  $m.s^{-1}$ , enquanto a intensidade máxima chegou a 5,6  $kcal.m^{-1}.s^{-1}$ .

FIGURA 7. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E DA TEMPERATURA DO AR ( $T_{ar}$ ) DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 18/06/92.



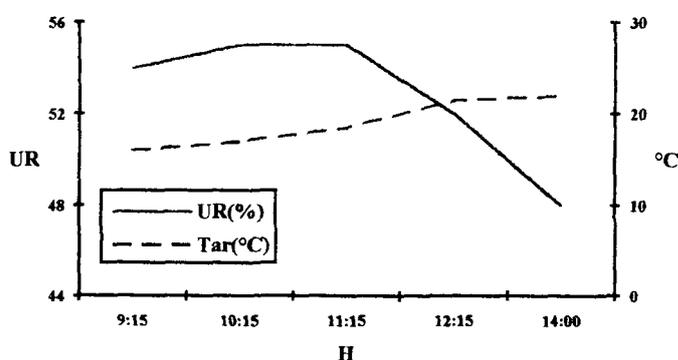
No ano de 1993 as queimas foram realizadas na primavera, no dia 5 de novembro. A Figura 8 apresenta a variação da  $T_{ar}$  e da UR ao longo do dia. Pode-se observar que, na maior parte do tempo, a  $T_{ar}$  se manteve próxima de  $25^{\circ}\text{C}$  enquanto a UR permaneceu abaixo de 50%. O tempo era estável e há 10 dias não chovia. As condições de queima estavam ótimas. Foram queimadas neste dia 16 parcelas, 8 anuais e 8 bianuais. O fogo se propagou com velocidades entre  $0,0016$  e  $0,014\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e apresentou intensidades entre  $3,5$  e  $64,3\text{ kcal}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ . Todas as parcelas foram queimadas sem problemas, de acordo com os objetivos pretendidos.

FIGURA 8. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E DA TEMPERATURA DO AR ( $T_{ar}$ ) DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 05/11/93.



A queima de 1994 foi realizada no início do inverno, após as primeiras geadas. No dia da queima, 30 de junho, os trabalhos tiveram início às 9:00 h e encerraram às 15:00 h. A atmosfera estava calma e há 6 dias não chovia. Neste dia foram queimadas 16 parcelas, 8 anuais e 8 trianuais. A variação da UR e  $T_{ar}$  durante este dia estão apresentadas na Figura 9. As condições se mantiveram estáveis durante todo o período das queimas. A velocidade de propagação do fogo variou entre 0,00238 e 0,0185  $m.s^{-1}$  e a intensidade entre 1,6 e 21,9  $kcal.m^{-1}.s^{-1}$ .

FIGURA 9. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (UR) E DA TEMPERATURA DO AR ( $T_{ar}$ ) DURANTE AS QUEIMAS DO DIA 30/06/94.



## 4.2 MATERIAL COMBUSTÍVEL

### 4.2.1 Caracterização

No início dos trabalhos, no ano de 1991, foi efetuado um inventário do material combustível existente em todas as parcelas que compunham o delineamento experimental. O peso seco médio do material combustível, por classe e total, está apresentado na Tabela 2.

Pelos valores da Tabela 2 pode-se constatar a predominância de acículas na composição do material combustível depositado no piso florestal do povoamento de *P. taeda*, respondendo por 78,5 % do peso total, enquanto a classe 1 respondeu por apenas 3,7 % . As classes 2 e 3 apresentaram praticamente a mesma proporção , em torno de 9% do total.

TABELA 2. PESO SECO EM ESTUFA, EM g.m<sup>-2</sup>, DO MATERIAL COMBUSTÍVEL POR CLASSE E TOTAL, ENCONTRADO SOB POVOAMENTO DE *Pinus taeda* COM 12 ANOS, SEM DESBASTE, SENGÉS-PR (N=112).

Classe de material	PESO		
	g.m <sup>-2</sup>	%	Varição
Acículas	984,68	78,5	765,22 - 1405,45
Classe 1	46,21	3,7	18,25 - 80,05
Classe 2	112,64	9,0	33,2 - 282,77
Classe 3	110,07	8,8	52,05 - 319,09
Total	1253,60	100	933,92 - 1788,15

SACKETT (1980) encontrou resultados semelhantes ao analisar as classes do material combustível em um povoamento de *Pinus ponderosa*: 76% para acículas, 11% para classe 1, 8,2% para classe 2 e 5,07 % para a classe 3.

KAUFFMAN & MARTIN (1989) analisando o material combustível de florestas de coníferas, em três áreas na Califórnia, verificaram que os materiais combustíveis da classe 1 representaram menos de 1 % do peso total dos combustíveis em todos os locais, as classes 2 e 3 contribuíram com menos do que 4 % e a camada de acículas contribuiu com 62 a 84 % do peso total. Como os povoamentos eram maduros, os autores encontraram uma quantidade expressiva de materiais da classe 4 (> 7,6 cm de diâmetro), que em algumas amostras chegou a representar 37 % do peso total do combustível.

Outra característica importante do material combustível é a espessura da serapilheira que se forma pela deposição gradual dos resíduos orgânicos. Os resultados mostraram uma

espessura total média de 5,3 cm. Separando-se morfologicamente os horizontes orgânicos L e F, conforme metodologia proposta por REISSMANN(1983), obteve-se uma espessura de 2,6 cm para o horizonte L e 2,7 para o horizonte F. De acordo com TREVISAN *et al* (1987), a espessura total do horizonte orgânico depende da espécie, das condições de decomposição e da qualidade do sítio.

É indiscutível a importância da serapilheira que cobre o solo, protegendo-o do impacto direto das intempéries (chuva, vento, extremos de temperatura) liberando nutrientes minerais e mantendo maior umidade. No entanto, a camada mais externa e mais nova, formada pelo material recém caído (horizonte L), constitui um excelente meio de propagação do fogo, pois perde umidade rapidamente e se acha pouco compactada.

#### 4.2.2 Redução do peso pela queima

Na tabela 3 estão apresentados os valores de peso seco do material combustível total, disponível e a redução obtida em função do tipo de queima, para cada ano estudado.

Comparando-se as queimas realizadas nos 4 anos, observa-se que nos anos de 1991, 1992 e 1994 a redução do combustível pela queima contra o vento foi maior que a produzida pela queima a favor do vento, embora a análise estatística não tenha detectado diferença significativa. No ano de 1993 a queima a favor do vento produziu redução de combustível significativamente maior do que a queima contra o vento.

De modo geral, de acordo com os resultados encontrados na literatura, as queimas contra o vento produzem maior redução na quantidade de combustível do que as queimas a favor do vento. No entanto, a influência das condições ambientais e do material combustível no dia da queima é decisiva para uma maior ou menor redução do combustível.

TABELA 3. QUANTIDADE MÉDIA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL (PESO SECO, EM g.m<sup>-2</sup>) TOTAL, DISPONÍVEL E REDUÇÃO OBTIDA EM FUNÇÃO DA TÉCNICA DE QUEIMA, POR ANO ANALISADO.

	MATERIAL COMBUSTÍVEL - g.m <sup>-2</sup>			
	EXISTENTE		REDUZIDO PELA QUEIMA	
	Total	Disponível	Total	(Arcos. <sup>1</sup> ) %
<b>ANO DE 1991</b>				
<b>Contra</b>	1213,10	1113,36	469,50	(39,98) 41,28
<b>Favor</b>	1256,20	1134,77	367,86	(32,26) 32,26
<b>ANO DE 1992</b>				
<b>Contra</b>	622,17	515,05	125,50	(31,04) 26,59
<b>Favor</b>	1002,90	839,64	139,55	(26,16) 19,44
<b>ANO DE 1993</b>				
<b>Contra</b>	1260,78	1136,03	431,90 *	(37,90 *) 37,73
<b>Favor</b>	2034,78	1851,44	968,69 *	(46,16 *) 52,79
<b>ANO DE 1994</b>				
<b>Contra</b>	1336,76	1198,06	324,48	(30,72) 26,01
<b>Favor</b>	1391,11	1237,82	249,09	(24,31) 16,95

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo Teste T ao nível de 5%.

<sup>1</sup> Os valores em parênteses correspondem aos dados transformados em Arcoseno da raiz quadrada da percentagem.

SACKETT (1980) analisou a redução do material combustível sob povoamentos de *Pinus ponderosa*, utilizando queima de baixa intensidade. As queimas foram realizadas sob diferentes condições em dois povoamentos. As reduções em peso do material combustível foram de 65 % e 43 % respectivamente.

BEAUFIT (1965) comparou as características de queimas contra e a favor do vento em camadas de acículas de *Pinus ponderosa*, em condições de laboratório. Os resultados mostraram que as queimas contra o vento consumiram mais material combustível do que as

queimas a favor do vento. Quanto maior a velocidade do vento menor foi a quantidade do material consumida pela queima a favor do vento.

HOUGH (1968) analisou a redução do combustível pela queima, em povoamentos de *Pinus elliottii* e *P. palustris*. Os resultados obtidos de queimas realizadas a cada 3 anos mostraram que a redução média foi similar para as queimas contra e a favor do vento, sendo de 56 % e 55 % respectivamente. No entanto, as queimas contra o vento consumiram mais serapilheira (58 % contra 49 %) e menos combustível vegetativo (53 % contra 61 %) do que as queimas a favor do vento. De acordo com o autor, as queimas contra o vento progridem mais vagarosamente e queimam mais profundamente no interior das camadas da serapilheira, enquanto as queimas a favor do vento progridem rapidamente e frequentemente queimam apenas a camada superior da serapilheira. Ele também observou que a redução do material combustível foi significativamente diferente de acordo com o ano.

GOLDAMMER (1982) obteve redução de 48 % do material combustível depositado no piso de um povoamento de *Pinus elliottii* no Paraná, utilizando queima controlada de baixa intensidade.

Comparando-se os resultados obtidos com os dados da literatura mencionados, pode-se constatar que apenas a queima contra o vento do ano de 1991 e a queima a favor do vento do ano de 1993 apresentaram níveis de redução de combustível semelhantes aos obtidos na literatura. As demais queimas reduziram pouco, entre 20 e 30% do material combustível total. Isto, de certa forma, expressa a dificuldade em se estabelecer o dia ideal da queima, porém, sem provocar danos ao povoamento. Esse dilema, aliado à inexistência de experimentos dessa natureza naquelas condições, fez com que normalmente se optasse por condições não totalmente ideais para queimar, mas seguras do ponto de vista de risco de incêndios.

Na tabela 4 estão apresentados os valores do peso seco do material combustível total, disponível e a redução média obtida pelas queimas nos anos de 1991 a 1994, não considerando o tipo de queima.

TABELA 4. REDUÇÃO MÉDIA DO MATERIAL COMBUSTÍVEL EM FUNÇÃO DO ANO DE QUEIMA.

MATERIAL COMBUSTÍVEL - g.m-2				
Ano	EXISTENTE		REDUZIDO PELA QUEIMA	
	Total	Disponível.	Total	(Arcos. <sup>1</sup> ) %
1991	1253,60	1143,53	423,83	(37,71 a) 37,41
1992	977,43	863,39	132,53	(28,60 b) 22,91
1993	1881,48	1711,12	700,29	(42,24 a) 45,19
1994	1612,76	1459,91	284,27	(27,30 b) 21,03
<b>Média</b>	1456,99	1320,76	423,82	35,01

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

<sup>1</sup> Os valores em parênteses correspondem aos dados transformados em Arcoseno da raiz quadrada da percentagem.

A tabela 4 mostra a redução obtida com a queima em cada ano. Neste caso não se considerou o tipo de queima. Utilizou-se a média geral das áreas queimadas contra e a favor do vento para verificar a diferença na redução de combustível entre os anos. Pelos resultados pode-se inferir que as melhores condições de queima ocorreram em 1993, redução média de 45,19 %, enquanto a queima de 1994 apresentou a menor redução, pouco acima de 20 %. A simples verificação da data em que se efetuou as queimas já pode elucidar melhor os resultados obtidos. As queimas de 1991 e 1993 foram realizadas no final da primavera, enquanto as queimas de 1992 e 1994 foram realizadas no início do inverno. Julgava-se, a princípio que a época ideal de queima seria no inverno, devido as condições mais secas daquela região nesta época. Os resultados não comprovaram tal fato. Ao contrário, indicaram mais eficiência das queimas na primavera. No entanto, os resultados não são suficientes para afirmar isto.

Os resultados referentes à redução do material combustível em função da frequência de queima estão apresentados na tabela 5.

TABELA 5. VALORES MÉDIOS DO PESO SECO ( $\text{g.m}^{-2}$ ) DO MATERIAL COMBUSTÍVEL TOTAL, DISPONÍVEL E SUA REDUÇÃO EM PESO E PORCENTUAL OBTIDA EM FUNÇÃO DO TIPO E DA FREQUÊNCIA DE QUEIMA.

TRATAMENTOS		MATERIAL COMBUSTÍVEL			
		EXISTENTE	REDUZIDO PELA QUEIMA		
Frequência.	Tipo	Total	Disponível	Total	(Arcos. <sup>1</sup> ) %
Anual	Contra	957,76	842,28	339,38	(37,92 a) 37,77
	Favor	1407,86	1242,15	391,44	(31,51 a) 27,32
Bianual	Contra	1198,47	1096,50	479,01	(41,35 a) 43,64
	Favor	1601,33	1452,75	771,62	(42,19 a) 45,10
Trienal	Contra	1523,97	1410,85	384,69	(30,70 a) 26,06
	Favor	1434,00	1301,96	346,16	(29,09 a) 23,64
Testemunha		2010,86	1862,18		

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

<sup>1</sup> Os valores em parênteses correspondem aos dados transformados em Arcoseno da raiz quadrada da porcentagem.

Da análise estatística resultou não haver diferença significativa na redução do material combustível, considerando-se a frequência e o tipo de queima, como pode se verificar na tabela 5. Entretanto, observa-se que as queimas bianuais contra e a favor do vento apresentaram uma redução de aproximadamente 45 % do total, enquanto as queimas trienais apresentaram redução em torno de 25 %. É possível que, neste caso, os resultados não estejam espelhando claramente a variação devido à frequência das queimas. As queimas bianuais foram realizadas apenas no ano de 1993, ano da melhor queima, enquanto as queimas trienais foram realizadas em 1994, ano em que as queimas não foram eficientes. É provável que tenha havido uma interação entre estes dois fatores que não foi possível separar. No caso das queimas anuais não houve este problema porque as queimas foram realizadas em todos os anos.

O intervalo ótimo entre as queimas depende de vários fatores, dentre os quais a literatura destaca: a espécie, as condições climáticas da região e o tipo de manejo do

povoamento. SACKETT (1975), por exemplo, analisou povoamentos de *Pinus taeda*, *P. elliottii* e *P. palustris*, localizados no norte da Flórida e no sudeste da Carolina do Sul. Depois de 12 anos de estudo sobre queima controlada nestes locais concluiu que o intervalo ótimo entre queimas para reduzir o risco de incêndios naquelas regiões é de 3 anos. WADE & LUNSFORD (1989) recomendam para povoamentos de pinus do sul do EUA, queimas controladas com frequências entre 2 e 4 anos para redução do material combustível.

Na tabela 6 está apresentada a variação da quantidade de material combustível ao longo dos quatro anos, nas parcelas testemunhas e nas parcelas queimadas.

TABELA 6. VARIAÇÃO MÉDIA DA QUANTIDADE TOTAL DO MATERIAL COMBUSTÍVEL NO PERÍODO DE 1991 A 1994, NAS PARCELAS TESTEMUNHAS E PARCELAS QUEIMADAS.

MATERIAL COMBUSTÍVEL - G.M <sup>-2</sup>		
ANO	P. SEM QUEIMAR	P. QUEIMADA
1991	1367,27 *	846,45 *
1992	1307,21 *	662,28 *
1993	2652,50 *	980,85 *
1994	2052,67 *	1222,17 *
<b>MÉDIA</b>	1844,91 *	946,81 *

Pares de médias (na linha) seguidas de "\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5 %.

Comparando-se as parcelas queimadas com as testemunhas, em cada ano, observa-se que a quantidade de material combustível nas parcelas queimadas nos anos de 1991 e 1994 é aproximadamente 40 % menor do que nas testemunhas. No ano de 1992 a diferença é de 50 %, e no ano 1993 a quantidade de material combustível é 60% menor nas parcelas queimadas. Em média, a quantidade de material combustível nas parcelas queimadas é 50 % menor do que nas testemunhas. Estes resultados são similares aos obtidos anteriormente, quando se analisou a redução média do material combustível, por ano (tabela 5). No entanto, a comparação com a

testemunha mostrou um desempenho melhor das queimas do ano de 1992 em relação aos anos de 1991 e 1994, que na verdade não ocorreu, isto é, ao se comparar a quantidade de material antes e depois da queima nas mesmas parcelas obteve-se um resultado mais coerente com as informações do comportamento do fogo.

É importante observar os valores da quantidade de material combustível nas parcelas queimadas no ano de 1994. A quantidade média de material nas áreas queimadas ( $1222.17 \text{ g.m}^{-2}$ ) ainda é menor que a quantidade existente em 1991 ( $1367.27 \text{ g.m}^{-2}$ ), no início dos trabalhos, nas parcelas testemunhas.

#### 4.2.3 Profundidade da queima

Na tabela 7 estão apresentados os valores médios da espessura total da camada de acículas, antes e depois da queima e a espessura média dos horizontes orgânicos L e F antes da queima, nos diversos tratamentos analisados. As médias referem-se às queimas de 1993 e 1994. Os resultados evidenciam a influência da queima na redução da espessura da serapilheira. Como a determinação deste parâmetro foi feita apenas nos anos de 1993 e 1994, pode-se observar que as médias da espessura total antes da queima nas áreas queimadas distanciam-se significativamente da testemunha, com exceção da queima trienal a favor do vento que não apresentou diferença significativa com a testemunha. Os outros tratamentos mostraram que as queimas de 1991 e 1992 reduziram em aproximadamente 50 % a espessura total da serapilheira, quando comparadas com a testemunha. Os valores médios da espessura total da serapilheira depois das queimas de 1993 e 1994 mostram que a queima reduziu em média aproximadamente 30 % da espessura total de todos os tratamentos.

TABELA 7. MÉDIAS DA ESPESSURA TOTAL (cm) DA SERAPILHEIRA ANTES E APÓS A QUEIMA E DA ESPESSURA DOS HORIZONTES ORGÂNICOS L E F ANTES DA QUEIMA.

QUEIMA		ESPESSURA DA SERAPILHEIRA - cm					
Freq.	Tipo	Antes	Após	(Arc. <sup>1</sup> )% Red.	Horiz. L	Horiz. F	
Anual	Contra	2,01 ab	1,35 a	(32,6 a)	28,9	1,31	0,70
	Favor	2,33 abc	1,64 a	(28,7 a)	23,1	1,32	1,01
Bianual	Contra	1,80 a	1,16 a	(34,2 a)	29,8	1,43	0,37
	Favor	3,33 abc	1,17 a	(47,7 a)	64,9	1,78	1,55
Trienal	Contra	3,72 bcd	2,25 b	(32,3 a)	28,6	2,19	1,53
	Favor	4,00 cd	2,77 b	(33,7 a)	30,8	2,67	1,33
Testem.		5,26 d				2,59	2,68

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

<sup>1</sup> Os valores em parênteses correspondem aos dados transformados em Arcoseno da raiz quadrada da percentagem.

Comparando-se as médias obtidas para a espessura da serapilheira após a queima com a espessura do horizonte F antes da queima, verifica-se que em todos os tratamentos, com possível exceção da queima bianual a favor do vento, as queimas não atingiram o horizonte F. Esse parâmetro "profundidade da queima" expressa muito bem o nível de exposição do solo mineral após a a queima. No caso das quatro queimas realizadas, pode-se observar que, na média, praticamente não houve exposição do solo mineral. O percentual de redução da camada orgânica evidencia que as queimas foram realizadas quando a umidade do horizonte orgânico mais próximo ao solo era suficientemente alta para evitar a sua queima e a consequente exposição do solo mineral.

Na tabela 8 estão apresentadas as médias da espessura da serapilheira antes e depois da queima em função apenas da técnica de queima utilizada.

TABELA 8. REDUÇÃO DA ESPESSURA DOS HORIZONTES ORGÂNICOS POR QUEIMAS CONTRA E A FAVOR DO VENTO.

TÉCNICA	ESPESSURA DA SERAPILHEIRA		REDUÇÃO (Arcoseno <sup>1</sup> ) %
	ANTES (cm)	DEPOIS (cm)	
Contra	2,17	1,45	(33,0) 29,7
Favor	2,95	1,84	(34,7) 32,4

Pares de médias seguidas de "\*\*\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5%.

<sup>1</sup> Os valores em parênteses correspondem aos dados transformados em Arcoseno da raiz quadrada da percentagem.

Os resultados da tabela 8 mostram que não houve diferença significativa de redução da espessura da serapilheira em função da técnica de queima utilizada.

De acordo com ALEXANDER<sup>10</sup> (1982) citado por DE RONDE *et al* (1990), a profundidade da queima depende principalmente do gradiente de umidade do piso florestal. Pelos resultados obtidos nas tabelas 7 e 8 pode-se inferir que, além do gradiente de umidade, a profundidade de queima depende da espessura do horizonte L, que é mais seco e menos compacto que o horizonte F, facilitando a propagação do fogo.

Outro fator importante na profundidade de queima é a intensidade do fogo, que neste caso foi baixa quando comparada com as informações da literatura.

#### 4.2.4 Relação Peso X Espessura da serapilheira

Os resultados da análise de regressão, associando o peso da serapilheira ( Y ) com a sua espessura ( X ) estão apresentados na tabela 9.

<sup>10</sup>ALEXANDER, M.E. Calculating and interpreting forest fire intensities. *Can. J. Bot.*, v.60, n.4, p.349-357, 1982.

TABELA 9. CARACTERÍSTICAS DAS EQUAÇÕES ESTIMATIVAS DO PESO DA SERAPILHEIRA ( Y ) EM FUNÇÃO DA ESPESSURA ( X ).

ANTES DA QUEIMA		APÓS A QUEIMA	
<b>ANO DE 1993</b>			
$Y = \text{Exp}(-0,5834 + 0,3080 X)$		$Y = \text{Exp}(-1,5183 + 0,9503 X)$	
$S_{vx} = 0,2304$	$R^2 = 0,86$	$S_{vx} = 0,2062$	$R^2 = 0,84$
<b>ANO DE 1994</b>			
$Y = \text{Exp}(-1,4920 + 0,4254 X)$		$Y = \text{Exp}(-2,4959 + 0,8846 X)$	
$S_{vx} = 0,2680$	$R^2 = 0,81$	$S_{vx} = 0,3136$	$R^2 = 0,67$

Marcando-se os pontos obtidos pelas equações em um gráfico obtém-se as curvas que estão representadas nas figuras 10 e 11. Tanto no ano de 1993 como no de 1994 as curvas representando os dados após a queima tendem a subir, ou seja, a partir de um determinado ponto, após a queima, para uma mesma espessura houve um aumento do peso. Isto demonstra que a queima consumiu a porção superior da serapilheira, o horizonte L, que neste caso apresentou uma espessura maior que a camada F ( ver tabelas 7 e 8) e menor peso. Comparando-se os pesos das camadas L e F no ano de 1993, verificou-se que o peso do horizonte L corresponde em média a 42,5 % do peso seco total da serapilheira.

A relação entre peso e espessura da serapilheira tem sido usada por diversos pesquisadores para estimativa do peso do material combustível depositado no piso florestal. FFOLLIOTT *et al.* (1968) desenvolveram modelos para estimativa do peso total e dos horizontes L e F de povoamentos de *Pinus ponderosa* no Arizona, EUA, utilizando esta relação. Esta mesma relação foi utilizada por McRAE *et al* (1979) para estimativa do peso da serapilheira de *Pinus banksiana* e *Picea mariana* no Canadá. Para ambas as espécies o melhor ajuste foi obtido com o modelo  $Y = a .X^b$ . BURROWS *et al* (1989) também utilizaram a relação peso x espessura da serapilheira para estimar o peso da serapilheira depositada no piso de um povoamento de *Pinus radiata* no oeste da Austrália.

FIGURA 10. VARIAÇÃO DO PESO DA CAMADA DE SERAPILHEIRA EM FUNÇÃO DA ESPESSURA NO ANO DE 1993, ANTES (AQ) E DEPOIS DA QUEIMA (DQ).

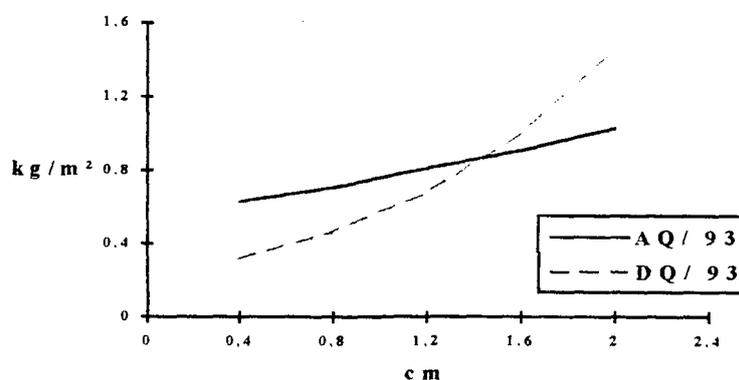
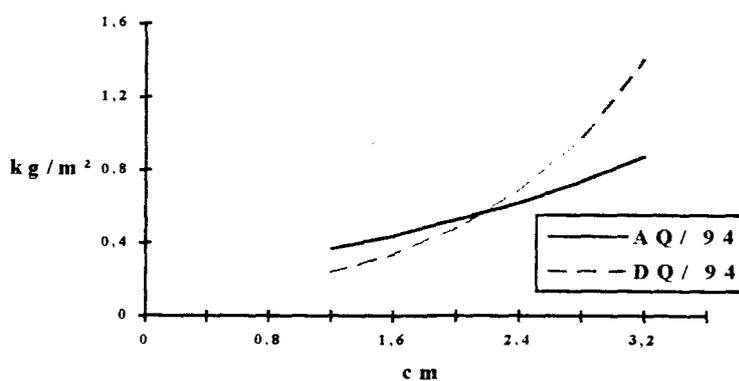


FIGURA 11. VARIAÇÃO DO PESO DA CAMADA DE SERAPILHEIRA EM FUNÇÃO DA ESPESSURA NO ANO DE 1994, ANTES (AQ) E DEPOIS DA QUEIMA (DQ).



#### 4.2.5 Umidade do material combustível

A umidade do material combustível é o reflexo do clima e das condições atmosféricas e pode variar muito. Na tabela 10 estão apresentadas as médias obtidas por ano para o conteúdo de umidade do material combustível. Os resultados espelham o efeito do clima no momento da

queima. Pelos resultados da coluna 1, observa-se que o material combustível fino ( classe 1 e a porção superior da camada de serapilheira, até 0,7 cm de espessura) apresentou-se mais seco nos anos de 1991 e 1993 do que nos anos de 1992. O horizonte orgânico F apresenta, como era esperado, um conteúdo de umidade bem mais elevado. No entanto, também neste caso, a maior média se verificou no ano de 1992 e a menor no ano de 1993, embora não se tenha verificado diferença significativa entre os anos de 1991, 1993 e 1994.

TABELA 10. CONTEÚDO DE UMIDADE DO MATERIAL COMBUSTÍVEL NO MOMENTO DAS QUEIMAS, NOS ANOS DE 1991 A 1994.

ANO	(Arcos. <sup>1</sup> ) U1h-TL - %	(Arcos.1)UF - %
1991	(20,46 ab) 12,21	(25,15 a) 18,06
1992	(21,55 c) 13,50	(36,48 b) 35,35
1993	(19,97 a) 11,66	(23,77 a) 16,25
1994	(20,84 b) 12,67	(27,98 a) 22,01

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

U1h-TL - conteúdo de umidade dos combustíveis com 1 hora de tempo de resposta, classe 1 e porção superior da camada de serapilheira até 0.7 cm de espessura;

UF - conteúdo de umidade do horizonte orgânico F.

<sup>1</sup> Os valores em parênteses correspondem aos dados transformados em Arcoseno da raiz quadrada da percentagem.

Embora os dados tenham sido obtidos através de diferentes métodos, os resultados da Tabela 10 esclarecem e evidenciam a maior eficiência das queimas de 1993 e o baixo desempenho de 1992. Isto porque o conteúdo de umidade é a propriedade mais importante que controla a inflamabilidade dos combustíveis florestais, principalmente os combustíveis finos (<1.0 cm de diâmetro), classificados como materiais perigosos.

De acordo com GREEN (1981) quando o conteúdo de umidade é maior do que 15%, o fogo se propaga muito lentamente. Quando a umidade atinge entre 15 e 10%, a velocidade de propagação dobra e entre 10 e 5% triplica, em relação à velocidade obtida quando a umidade é maior do que 15%.

WADE & LUNSFORD (1989) recomendam conteúdos de umidade dos combustíveis finos entre 10 e 20% para queimas controladas. Queimar quando o conteúdo de umidade está entre 6 e 7% pode resultar em danos às raízes das plantas e ao solo. Quando a umidade dos combustíveis finos aproxima-se de 30%, o fogo tende a se propagar muito vagarosa e irregularmente, resultando geralmente em queimas incompletas que não atingem os objetivos desejados.

ROTHERMEL & ANDERSON<sup>11</sup> (1966), citados por GREEN (1981), observaram que em camadas de acículas de *Pinus ponderosa* a velocidade de propagação decresceu cerca de 4,23 % para cada 1 % de aumento na umidade do combustível. Mantendo-se esta relação eles observaram que o fogo não se propagou quando as acículas atingiram 24 % de umidade.

Comparando-se os resultados da tabela 10 com os dados da literatura, verifica-se que no ano de 1992 a umidade dos combustíveis finos esteve em média em 13,5 %. Analisando-se os valores individuais observou-se que em várias parcelas o conteúdo de umidade esteve próximo de 15%. Este valor alto dificultou a propagação de tal forma que foi necessário reacender a linha de fogo várias vezes. Nos outros anos o conteúdo de umidade dos combustíveis finos foi semelhante, embora a propagação do fogo tenha sido distinta. Mesmo assim, observa-se que no ano de 1993 a umidade dos materiais finos foi menor, mesmo não significativa, concorrendo para uma melhor propagação do fogo. Os resultados parecem indicar que quanto mais próximo a 10% de umidade estiverem os combustíveis finos, melhores as condições de queima.

---

<sup>11</sup>ROTHERMEL, R.C. & ANDERSON, H.L. Fire spread characteristics determined in the laboratory. **Res. Pap.**, Ogden, INT-30, 30p, 1966.

### 4.3 COMPORTAMENTO DO FOGO

#### 4.3.1 Velocidade de propagação

Na tabela 11 estão apresentados os valores médios da velocidade de propagação do fogo, obtidos por ano e por tipo de queima.

Os resultados da tabela 11 mostram que não houve diferença significativa quando se comparou a velocidade média de propagação dos quatro anos. Analisando-se separadamente, ano a ano, por tipo de queima, observa-se que houve diferença significativa apenas entre as queimas contra e a favor do vento no ano de 1993. Analisando-se conjuntamente todos os anos, houve diferença significativa entre os tipos de queima, sendo que a queima a favor do vento apresentou praticamente o dobro da velocidade da queima contra o vento.

RIGOLOT (1990) apresenta os seguintes limites para uma escala de velocidade de propagação do fogo: baixa =  $< 0,0333 \text{ m.s}^{-1}$ ; média =  $0,0333 \text{ a } 0,1666 \text{ m.s}^{-1}$ ; alta =  $0,1666 \text{ a } 1,1666 \text{ m.s}^{-1}$  e extrema =  $> 1,1666 \text{ m.s}^{-1}$ .

A velocidade de propagação varia em função de diversos fatores, sendo os principais: a técnica utilizada, as condições climáticas e as características do combustível. WADE & LUNSFORD (1989) afirmam que as queimas contra o vento progridem com velocidades entre  $0,0056 \text{ e } 0,0167 \text{ m.s}^{-1}$ . Os resultados da tabela 11 mostram que a velocidade média de propagação das queimas contra o vento foi de aproximadamente  $0,005 \text{ m.s}^{-1}$ , portanto nem atingindo o limite inferior referido pelos autores. Examinando-se as médias anuais, constata-se que apenas a queima de 1993 esteve um pouco acima do limite inferior de  $0,0056 \text{ m.s}^{-1}$ . BURROWS *et al* (1989), em experimentos de queima controlada contra o vento em povoamentos de *Pinus radiata* na Austrália, também obtiveram velocidades de propagação muito baixas em algumas queimas, a menor atingindo apenas  $0,0028 \text{ m.s}^{-1}$ .

TABELA 11. VELOCIDADE MÉDIA DE PROPAGAÇÃO DO FOGO ( $r$ ), EM M.S<sup>-1</sup>, POR ANO E POR TIPO DE QUEIMA.

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO FOGO - $r$ (m.s <sup>-1</sup> )			
Ano da Queima	Média por ano	Tipo da Queima	Média por tipo
1991	0,0068 a	Contra	0,0044
		Favor	0,0094
1992	0,0057 a	Contra	0,005
		Favor	0,0064
1993	0,0083 a	Contra	0,0065 *
		Favor	0,0100 *
1994	0,0068 a	Contra	0,0034
		Favor	0,0097
Média Geral	0.007	Contra	0,0049 *
		Favor	0,0093 *

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5 %.

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5 %.

Para as queimas a favor do vento, que normalmente apresentam uma maior velocidade devido a influência do vento ou, no caso deste experimento, da inclinação do terreno, os resultados também foram menores do que se observa na bibliografia. CAIN (1985) observou velocidades de propagação de 0,0307 m.s<sup>-1</sup> em queimas de inverno a favor do vento em povoamentos *P. taeda* e *P. echinata* no Arkansas, EUA. Já JOHANSEN (1975) encontrou velocidades entre 0,0762 e 1,09 m.s<sup>-1</sup> em queimas a favor do vento em povoamentos de *P. elliottii*. No entanto, as condições eram extremamente secas e perigosas. KAUFFMAN & MARTIN (1989) analisaram queimas controladas em três sítios de uma floresta de coníferas, com diversas condições de combustíveis e topografia, na Califórnia. A velocidade de propagação das queimas de média intensidade variou muito em função das diferentes condições, indo de 0,0033 m.s<sup>-1</sup> nas piores até 0,04 m.s<sup>-1</sup> nas condições ideais.

Os resultados da tabela 11 portanto comprovam a variabilidade da velocidade de propagação do fogo, em função das diferentes épocas analisadas e das técnicas empregadas.

Na tabela 12 estão apresentadas as médias de velocidade de propagação do fogo obtidas em função das frequências de queima.

TABELA 12. VELOCIDADE MÉDIA DA PROPAGAÇÃO DO FOGO ( $r$ ), EM  $m.s^{-1}$ , EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA E DA TÉCNICA DE QUEIMA.

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO FOGO - $r$			
Frequência	$r$ ( $m.s^{-1}$ )	Tipo da Queima	$r$ ( $m.s^{-1}$ )
Anual	0,0070 a	Contra	0,0046 a
		Favor	0,0090 ab
Bianual	0,0080 a	Contra	0,0057 ab
		Favor	0,0107 b
Trienal	0,0059 a	Contra	0,0048 a
		Favor	0,0080 ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

Os resultados da Tabela 12 indicam não haver diferença significativa entre as médias de queimas anuais, bianuais e trienais. Com relação às frequências por tipo de queima, houve diferença significativa apenas entre a queimas anuais e trienais contra o vento e as queimas bianuais a favor do vento. Pode-se observar também que comparando-se em cada frequência, anual, bianual ou trienal, a velocidade de propagação na queima a favor do vento sempre foi aparentemente maior que a velocidade da queima contra o vento, embora não tenha sido detectada diferença significativa.

## 4.3.2 Intensidade

As médias da intensidade do fogo por ano e por tipo de queima estão apresentadas na tabela 13.

TABELA 13. INTENSIDADE MÉDIA DO FOGO ( I ), EM kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>, POR ANO E POR TIPO DE QUEIMA.

INTENSIDADE DO FOGO - I (KCAL.M <sup>-1</sup> .S <sup>-1</sup> )			
Ano	I	Tipo de Queima	I
1991	11,54 a	Contra	9,73
		Favor	14,04
1992	2,88 a	Contra	2,47
		Favor	3,30
1993	25,22 b	Contra	11,63 *
		Favor	38,82 *
1994	7,21 a	Contra	4,90
		Favor	9,23
Média	13,00	Contra	8,14 *
		Favor	18,21 *

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5 %.

As médias globais por ano na tabela 13 mostram valores bem distintos em cada ano analisado, embora tenha sido detectada diferença significativa apenas entre a média do ano de 1993 e as demais. Quanto ao tipo de queima empregado, também em 1993 houve diferença significativa entre os tipos de queima. Houve diferença entre os tipos de queima também quando se analisou a média entre todos os anos. Em geral as intensidades foram semelhantes aos valores encontrados na bibliografia para queimas experimentais.

KAUFFMAN & MARTIN (1989) obtiveram valores muito distintos de intensidade quando analisaram queimas de média intensidade em povoamentos mistos de coníferas na Califórnia. Nas queimas a favor do vento realizadas no final do outono em três sítios distintos, as intensidades foram respectivamente 3,32 , 20,55 e 5,02 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>. As queimas a favor do vento realizadas no início do outono nos mesmos sítios apresentaram, respectivamente, as seguintes intensidades: 36,33 , 5,02 e 13,38 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.

Em várias queimas experimentais de baixa intensidade realizadas em povoamentos de *Pinus radiata* na Austrália, BURROWS *et al.* (1989) obtiveram intensidades do fogo variando desde 4,78 até 144 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.

Em experimentos de queima controlada desenvolvidos em povoamentos de *P. pinaster* e *P. radiata* no noroeste da Espanha, para redução do material combustível, VEGA *et al.* (1983) obtiveram intensidades do fogo entre 22 e 86 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.

WADE & LUNSFORD (1989) afirmam que em povoamentos de pinus do sul dos EUA, cuja quantidade de material combustível varia entre 13 e 30 ton.ha<sup>-1</sup>, uma queima controlada de baixa intensidade com velocidade de propagação de 0,0085 m.s<sup>-1</sup> pode atingir intensidade entre 20 e 54 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.

JULIO & GIROZ (1975) realizaram diversos experimentos com queima controlada em povoamentos de *Pinus* sp e *Ulex* sp na província de Valdivia no Chile. A intensidade do fogo nesta queimas variou entre 18 e 450 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>, dependendo das condições do povoamento e do clima.

Pela diversidade dos resultados da literatura apresentados, juntamente com os valores de intensidade encontrados nas queimas realizadas, confirma-se a informação de que uma queima nunca é igual a outra, devido a imensa variedade de condições que podem ocorrer antes e durante a passagem do fogo.

É importante salientar a necessidade de se conhecer os valores máximos aceitáveis de intensidade do fogo em povoamentos florestais, que não produzam danos às árvores e ao ambiente. McARTHUR (1962) apresenta uma escala de intensidade, descrevendo o

comportamento do fogo e seus possíveis efeitos em florestas de eucaliptos. De acordo com esta escala a máxima intensidade para danos aceitáveis em florestas de eucaliptos é de 80 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>. SOARES (1985) afirma que em povoamentos de pinus, a intensidade máxima aceitável é de 120 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>. É óbvio que estes valores, tanto para pinus como para eucaliptos, referem-se a povoamentos adultos, e não jovens ainda em formação.

Analisando-se as médias de intensidade do fogo em relação à frequência de queimas pode-se verificar na tabela 14 que não houve diferença significativa entre os tratamentos, embora a queima bianual tenha apresentado o dobro do valor obtido para queimas anuais e trienais.

TABELA 14. INTENSIDADE MÉDIA DO FOGO ( I ), EM kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>, EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA E DO TIPO DE QUEIMA.

<b>INTENSIDADE DO FOGO - kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup></b>			
<b>Freq. de queima</b>	<b>I</b>	<b>Tipo de queima</b>	<b>I</b>
<b>Anual</b>	10,85 a	Contra	6,53 a
		Favor	14,40 a
<b>Bianual</b>	20,98 a	Contra	10,74 a
		Favor	32,93 b
<b>Trienal</b>	10,36 a	Contra	9,58 a
		Favor	11,76 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

Quanto à técnica de queima por frequência, os resultados mostram que houve diferença significativa entre a queima bianual a favor do vento e as demais queimas. Aqui novamente, como nos casos anteriores, é possível que tenha havido interação entre o melhor ano de queima e a queima bianual, proporcionando uma intensidade maior nesta frequência.

## 4.3.3 Liberação de calor

As médias da quantidade de calor liberado pelas queimas, por ano e por tipo de queima, estão apresentadas na tabela 15.

TABELA 15. MÉDIAS DE CALOR LIBERADO ( Ha ), EM kcal.m<sup>-2</sup>, POR ANO E POR TIPO DE QUEIMA.

<b>CALOR LIBERADO (Ha em kcal.m<sup>-2</sup>)</b>			
<b>Ano</b>	<b>Ha</b>	<b>Tipo de Queima</b>	<b>Ha</b>
<b>1991</b>	1697,43 <b>b</b>	Contra	1858,15
		Favor	1476,43
<b>1992</b>	530,13 <b>a</b>	Contra	502,00
		Favor	558,18
<b>1993</b>	2904,10 <b>c</b>	Contra	1790,75 *
		Favor	4017,45 *
<b>1994</b>	1171,98 <b>ab</b>	Contra	1027,13
		Favor	1337,53
<b>Média</b>	1733,40	Contra	1537,89
		Favor	1942,89

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5 %.

Os dados da tabela 15 revelam diferenças significativas entre as quantidades de calor liberado nas queimas de 1991, 1992 e 1993. A maior liberação de calor ocorreu para as queimas de 1993, com 2904 kcal.m<sup>-2</sup>, e a menor para as queimas de 1992, com apenas 530,13 kcal.m<sup>-2</sup>. As queimas de 1994 apresentaram liberação de calor inferior a 1993, não diferindo estatisticamente das queimas de 1991 e 1992.

Quanto à técnica de queima, verifica-se na tabela 15 que não houve diferença significativa entre as queimas contra e a favor do vento em todos os anos, com exceção do ano de 1993. Na média geral de todos os anos também não houve diferença entre as técnicas, embora a queima a favor do vento tenha apresentado maior liberação de calor do que a queima contra o vento.

Analisando-se as frequências de queima, os dados da tabela 16 mostram que não houve diferença entre as médias, embora a queima bianual tenha apresentado valores bem superiores às médias anuais e trienais. Pela análise estatística também não se verificou diferença entre os tipos de queima por frequência.

TABELA 16. MÉDIAS DE CALOR LIBERADO ( Ha ), EM kcal.m<sup>-2</sup>, EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA E DO TIPO DE QUEIMA.

CALOR LIBERADO (Ha) - em Kcal.m <sup>-2</sup>			
Freq. de queima	Ha	Tipo de queima	Ha
<b>Anual</b>	1505,36 a	Contra	1384,55 a
		Favor	1604,86 a
<b>Bianual</b>	2518,78 a	Contra	1815,37 a
		Favor	3339,42 a
<b>Trienal</b>	1509,08 a	Contra	1560,60 a
		Favor	1416,35 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

#### 4.3.4 Tempo de residência (duração do fogo)

A duração média do fogo num determinado ponto, ou seja, o tempo de residência para cada ano está apresentado na tabela 17.

TABELA 17. TEMPO DE RESIDÊNCIA MÉDIO DO FOGO ( $t_r$ ), CALOR LIBERADO ( $H_a$ ) E INTENSIDADE DE REAÇÃO ( $I_r$ ) DURANTE AS QUEIMAS DE 1991 A 1994.

ANO	$H_a$ (Kcal.m <sup>-2</sup> )	$I_r$ (Kcal.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	$t_r$ (s)
1991	1697,43	118,29	14,35
1992	530,13	36,71	14,44
1993	2904,10	202,39	14,35
1994	1171,98	81,38	14,40

Os resultados da tabela 17 mostram que o tempo de residência permaneceu constante, praticamente não variando em nenhum dos anos analisados. Isto ocorreu porque, de acordo com ROTHERMEL (1983), o tempo de residência depende basicamente das características do material combustível, principalmente da relação entre a superfície e o volume da camada de material combustível depositado sobre o piso florestal. A relação superfície/volume do material combustível, por sua vez, depende do tipo e das dimensões das partículas que compõem o material combustível. Considerando que as características básicas do material combustível, como o tipo, os elementos componentes (galhos e acículas) e a proporção de cada componente em relação ao total, praticamente não variaram ao longo dos anos analisados, o tempo de residência também não se alterou. Se, por exemplo, a composição do material combustível for alterada, devido a incorporação de novos componentes provenientes de um desbaste (galhos mais grossos), o tempo de residência irá aumentar. Isso significa também que o aquecimento e a intensidade do fogo serão alterados para níveis bem diferentes dos atuais.

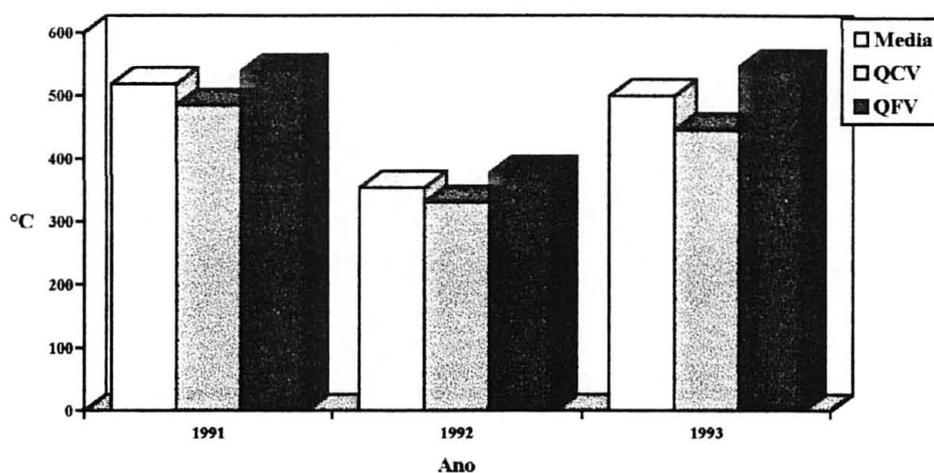
Para os 13 modelos de combustíveis encontrados nas áreas florestais dos E.U.A., o tempo de residência variou entre 6 e 20 segundos (ROTHERMEL, 1983).

BOTELHO *et al.* (1990) estimaram o tempo de residência para dois povoamentos de *Pinus pinaster* em Portugal. Os valores encontrados foram respectivamente 15,26 s e 13,04 s.

#### 4.3.5 Temperatura durante a queima

Na figura 12 estão apresentadas as médias das temperaturas máximas obtidas na superfície do piso florestal durante a passagem do fogo, em queimas contra e a favor do vento, nos anos de 1991 a 1993.

FIGURA 12. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA NA SUPERFÍCIE DO PISO FLORESTAL DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA (QCV) E A FAVOR DO VENTO (QFV).



A análise estatística (tabela 18) não detectou diferença significativa entre os anos analisados. Mesmo assim pode-se observar que as queimas de 1992 apresentaram temperaturas menores que os anos de 1991 e 1993. Verificou-se também que nas queimas contra o vento os valores médios de temperatura foram menores que nas queimas a favor do vento, nos tres anos analisados, embora não tenha sido verificado diferença significativa.

TABELA 18. MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS (EM ° C) VERIFICADAS NA SUPERFÍCIE DO PISO FLORESTAL DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA E A FAVOR DO VENTO.

Ano	Temp. (° C)	Tipo de Queima	Temp. (° C)
1991	511,4 a	Contra	484,0
		Favor	538,8
1992	353,9 a	Contra	330,5
		Favor	377,2
1993	495,2 a	Contra	444,8
		Favor	545,6

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.  
Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5 %.

Na figura 13 pode-se observar os valores médios das temperaturas máximas encontradas sob a serapilheira durante a passagem do fogo.

Neste caso houve diferença significativa entre as médias dos anos de 1992 e 1993. Com relação ao tipo de queima ocorreu o inverso do caso anterior, sendo que as queimas contra o vento apresentaram temperaturas superiores às queimas a favor do vento, embora a diferença significativa só tenha sido detectada no ano de 1991. Na média geral as queimas contra o vento apresentaram temperatura de aproximadamente 570 °C e as queimas a favor do vento 420 °C.

FIGURA 13. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA SOB A SERAPILHEIRA DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA (QCV) E A FAVOR DO VENTO (QFV).

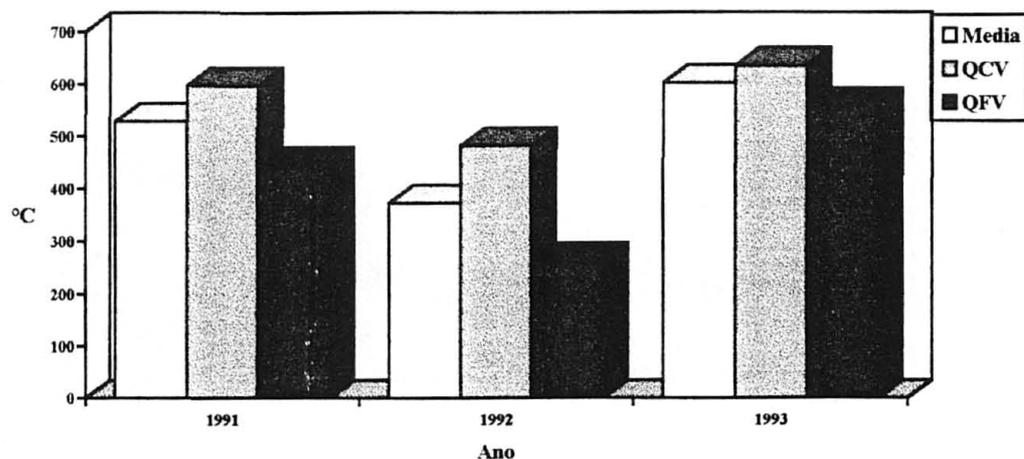


TABELA 19. MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS (EM ° C) VERIFICADAS SOB A SERAPILHEIRA DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA E A FAVOR DO VENTO

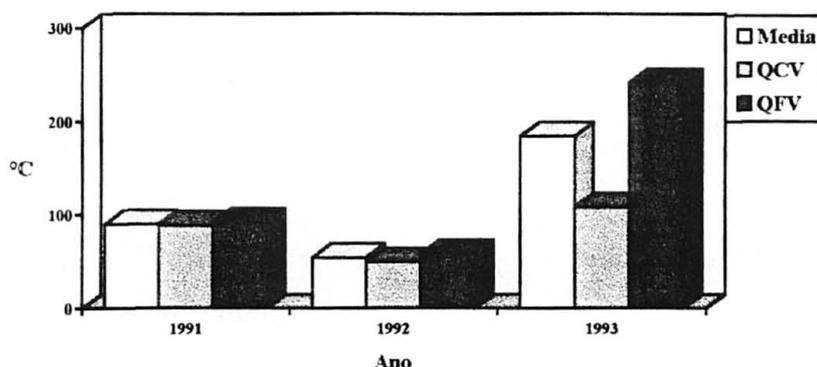
Ano	Temp. (° C)	Tipo de Queima	Temp. (° C)
1991	519,8 ab	Contra	596,0 *
		Favor	443,6 *
1992	371,9 b	Contra	481,7
		Favor	262,0
1993	594,9 a	Contra	633,5
		Favor	556,3

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5 %.

A análise das temperaturas máximas obtidas 1 metro acima da superfície do povoamento durante a passagem do fogo (Figura 14) mostrou diferença significativa entre os anos analisados (tabela 20).

FIGURA 14. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA A 1 METRO ACIMA DA SUPERFÍCIE DA FLORESTA DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA (QCV) E A FAVOR DO VENTO (QFV).



As temperaturas obtidas durante as queimas de 1993 foram bem superiores às obtidas nos outros anos. Não houve diferença significativa entre as médias de 1991 e 1992. Houve diferença significativa entre as técnicas de queima no ano de 1993, com as médias das temperaturas nas queimas a favor do vento sendo aproximadamente duas vezes e meia superior à média da queima contra o vento.

Em geral as queimas contra o vento apresentaram médias superiores às queimas a favor do vento, apenas sob a serapilheira, enquanto na superfície e a 1 metro de altura as médias foram inferiores às queimas a favor do vento. Os resultados encontrados evidenciam que as queimas contra o vento se propagam mais para o interior da serapilheira, enquanto as queimas a favor do vento produzem chamas maiores, aquecendo mais intensamente a superfície e as proximidades desta.

Diversos trabalhos têm registrado temperaturas durante a passagem do fogo ao nível e a diversas profundidades do solo e a várias alturas acima do solo.

GOLDAMMER (1983b) trabalhando com queimas controladas em plantios de *Pinus taeda* e *P. elliottii* no Paraná registrou 373 °C como a máxima temperatura atingida a cerca de 80 cm acima do solo.

TABELA 20. MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS (EM ° C) VERIFICADAS A 1 METRO ACIMA DA SUPERFÍCIE DA FLORESTA DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, EM QUEIMAS CONTRA E A FAVOR DO VENTO

Ano	Temp. (° C)	Tipo de Queima	Temp. (° C)
1991	90,0 b	Contra	81,4
		Favor	91,7
1992	53,6 b	Contra	49,2
		Favor	58,0
1993	174,3 a	Contra	107,5
		Favor	241,1

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%. Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5 %.

BIDWELL & ENGLE (1991) analisando o comportamento de queimas controladas contra e a favor do vento em vegetação de pradaria em Oklahoma, obtiveram as seguintes médias das temperaturas máximas durante a passagem do fogo para queimas a favor do vento: 216 °C ao nível do solo, 307 °C a 30 cm acima do solo e 274 °C a 60 cm acima do solo. Para queimas contra o vento obtiveram as seguintes médias: 215 °C ao nível do solo, 270 °C a 30 cm acima do solo e 78 °C a 60 cm acima do solo. De acordo com os autores existe uma discordância na literatura de qual seja o tipo de queima que produz temperaturas mais altas. Embora as temperaturas tenham sido altamente variáveis, não houve diferença significativa entre os tipos de queimas.

SIMS (1976) estudando os efeitos da queima controlada em povoamentos de *Pinus banksiana* em Manitoba, Canadá, registrou as temperaturas máximas do solo durante a passagem do fogo em três queimas. Ao nível da interface solo mineral-humus, as temperaturas registradas foram respectivamente 300 °, 286° e 256 °C para as três queimas. Conforme SIMS a queima 1 apresentou maior temperatura devido às condições mais favoráveis de queima, isto é, temperatura do ar mais alta e umidade relativa mais baixa.

FAHNESTOCK & HARE (1964) estudando o aquecimento dos troncos das árvores de um povoamento de *Pinus palustris* em queimas controladas contra e a favor do vento, no sul do Mississipi-EUA, registraram as temperaturas máximas durante a passagem do fogo, em várias alturas acima do solo. Ao nível do solo, as temperaturas máximas atingidas foram de aproximadamente 600 °C nas queimas a favor e 700 °C nas queimas contra o vento. A 90 cm acima do solo foram 205 °C nas queimas a favor e 150 °C nas queimas contra o vento. Segundo os autores, em geral o aquecimento nas queimas de serapilheira de pinus é maior ao nível do solo e decresce com a altura acima do solo. Concluem os autores que queimas contra e a favor do vento, nas mesmas condições meteorológicas, aquecem os troncos essencialmente no mesmo grau, ao nível do solo, ou seja, não diferem significativamente entre si. Esta conclusão contradiz a opinião geral de que a queima contra o vento, devido sua baixa velocidade de propagação, produz altas temperaturas por mais tempo do que a queima a favor do vento que se move mais rapidamente.

Confrontando os resultados obtidos com os dados da bibliografia observa-se que há uma grande variação nos resultados, em função das condições ambientais, do povoamento e do tipo de queima. No entanto, os valores encontrados na literatura são similares aos obtidos neste experimento, com as maiores médias situando-se entre 600 °C e 700 °C no solo e sob a manta e as menores entre 50 °C e 60 °C 1 metro acima do solo.

Na Tabela 21 estão apresentadas as correlações obtidas entre as temperaturas máximas durante a passagem do fogo e as variáveis meteorológicas e do comportamento do fogo.

Analisando-se os coeficientes de correlações simples obtidos, observa-se que a umidade relativa (UR) e a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) têm influência nas temperatura durante a passagem do fogo. As correlações negativas para UR indicam que quanto maior a umidade do ar menor a temperatura máxima, enquanto que para a  $T_{ar}$  (correlação positiva) quanto maior a temperatura do ar maior a temperatura máxima. É importante observar que a intensidade (I), o combustível consumido (W), a altura de crestamento (Hs), o comprimento da chama (Hc) e o

calor liberado (Ha) são altamente correlacionados com as temperatura máximas atingidas a 1 metro acima do solo, durante a passagem do fogo.

TABELA 21. CORRELAÇÕES ENTRE TEMPERATURAS MÁXIMAS OBTIDAS DURANTE A PASSAGEM DO FOGO, E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E DO COMPORTAMENTO DO FOGO.

Var.meteorológicas e do comp. do fogo	Temperaturas máximas		
	Na superfície	Sob a manta	A 1 m de altura.
<b>CORRELAÇÕES SIMPLES</b>			
<b>r</b>	0,05	0,08	0,30
<b>W</b>	0,07	0,003	0,71 **
<b>I</b>	0,07	0,07	0,74 **
<b>Hc</b>	0,08	0,18	0,69 **
<b>Hs</b>	0,10	0,16	0,73 **
<b>Ha</b>	0,07	0,005	0,71**
<b>T<sub>ar</sub></b>	0,18	0,41 *	0,40 *
<b>UR</b>	0,09	-0,38 *	-0,28

\* Significativo ao nível de 95 % de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 99 % de probabilidade.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS QUEIMAS

##### 4.4.1. No solo

##### 4.4.1.1 Teores de nutrientes da serapilheira

Os conteúdos totais dos elementos analisados na serapilheira, antes e após a queima de 1993, estão apresentados na tabela 22. A análise de variância mostrou não haver diferença significativa entre os teores de nutrientes das parcelas queimadas e não queimadas. Embora não significativos, pode-se observar que os valores de N e K foram menores nas parcelas queimadas, enquanto que as parcelas queimadas apresentaram maiores teores de Ca e Mg.

Pelos resultados encontrados pode-se afirmar que não houve alterações significativas nos teores de N, K, Ca e Mg da serapilheira. Os resultados encontrados por SOARES (1990) e MAGGS (1988) em trabalhos semelhantes indicam uma redução de N na serapilheira das parcelas queimadas e um aumento de K, Ca e Mg.

TABELA 22. CONTEÚDOS TOTAIS DE N, K, Ca E Mg ENCONTRADOS NA SERAPILHEIRA DE *Pinus taeda*, NAS PARCELAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS.

←————— CONTEÚDOS TOTAIS —————→				
Tratamento	N (g.100g <sup>-1</sup> )	K (µg.g <sup>-1</sup> )	Ca (µg.g <sup>-1</sup> )	Mg (µg.g <sup>-1</sup> )
<b>Queimado</b>	0,63	205,9	1330	214
<b>Não Queimado</b>	0,67	279,7	920	163

Pares de médias na linha seguidas de "\*" diferem entre si pelo Teste de T ao nível de 5%.

## 4.4.1.2 Características químicas do solo

As características relacionadas com a acidez do solo mostraram não haver diferença significativa entre as parcelas queimadas e não queimadas (tabela 23).

TABELA 23. VALORES DE pH E TEORES DE  $Al^{+3}$  E  $H+Al$  NAS CAMADAS DO SOLO DE ÁREAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS SOB POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*.

TRATAMENTO	PROFUNDIDADE			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
<b>pH (CaCl<sub>2</sub>)</b>				
Queimada	3,86	3,98	3,98	4,06
Não queimada	3,81	3,98	4,02	4,04
<b>Al<sup>+3</sup> (meg.cm<sup>-3</sup>)</b>				
Queimada	1,78	1,58	1,46	1,28 *
Não queimada	1,91	1,55	1,46	1,35 *
<b>H+Al (meg.cm<sup>-3</sup>)</b>				
Queimada	8,80	7,78	7,36	6,68
Não queimada	8,93	7,58	7,17	6,80

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo Teste T ao nível de 5%.

O pH da área queimada foi levemente superior na profundidade de 0 a 5cm, enquanto os valores de  $Al^{+3}$  e  $H+Al$  foram menores que as áreas não queimadas. SOARES (1990) obteve um aumento não significativo no pH de 4,21 para 4,33 em camadas de solo de até 2,5 cm de profundidade em áreas queimadas sob *Pinus caribaea* e um aumento significativo de 3,98 para 4,13 nas áreas queimadas de *P. oocarpa* em Sacramento, Minas Gerais. VEGA *et al.* (1983) observaram também uma pequena diferença não significativa entre o pH de áreas não queimadas (pH = 4,52) e áreas queimadas (pH = 4,60). DE RONDE *et al.* (1990) afirmam que

o efeito do fogo no pH decresce com a profundidade do solo. Os valores de pH nas profundidades analisadas não permitem uma clara definição. No entanto a maior diferença se deu na camada mais superficial do solo.

Na tabela 24 estão apresentados os valores médios dos teores de matéria orgânica (M.O), capacidade de troca catiônica (T), saturação de Alumínio (m) e saturação de bases (V) nas camadas superficiais do solo de áreas queimadas e não queimadas.

Os resultados da tabela 24 mostram que a queima não provocou alteração estatisticamente significativa em nenhuma das características analisadas.

Para a matéria orgânica, os resultados indicam que não houve redução pela queima. HUNT & SIMPSON (1985) encontraram resultados semelhantes quando analisaram solos de áreas queimadas de povoamentos de *Pinus elliottii*. McKEE (1982) observou um aumento do teor de matéria orgânica em solos de áreas queimadas de povoamentos de *Pinus palustris*, *P. elliottii* e *P. taeda*. No entanto, em muitos outros experimentos, os resultados indicaram redução do teor de matéria orgânica do solo devido a queima (KUTIEL & NAVEH, 1987; REGO et al. 1983; VEGA et al., 1983, AUSTIN & BAISINGER, 1955). De modo geral, a intensidade do fogo e as características do solo são os fatores mais importantes que concorrem para redução da matéria orgânica pela queima.

Ao se analisar a CTC (T), observa-se comportamento semelhante ao ocorrido com a matéria orgânica. Isto demonstra claramente que não houve redução da matéria orgânica, porque se isto tivesse ocorrido a CTC também teria sido reduzida, já que a CTC e a matéria orgânica são fortemente associadas.

TABELA 24. TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA (M.O.), CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (T), SATURAÇÃO DE ALUMÍNIO (m) E SATURAÇÃO DE BASES (V) EM CAMADAS SUPERFICIAIS DE SOLOS DE ÁREAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS.

TRATAMENTO	PROFUNDIDADE			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
<b>M.O. %</b>				
<b>Queimada</b>	3.5	2.3	2.1	1.4
<b>Não queimada</b>	3.6	2.4	1.6	1.3
<b>T %</b>				
<b>Queimada</b>	9.87	8.72	8.20	7.39
<b>Não queimada</b>	9.96	8.45	7.87	7.47
<b>m %</b>				
<b>Queimada</b>	62.6	63.0	64.2	64.2
<b>Não queimada</b>	65.2	64.2	68.1	67.0
<b>V %</b>				
<b>Queimada</b>	11.0	10.8	10.1	9.8
<b>Não queimada</b>	10.3	10.3	8.7	9.1

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo Teste T ao nível de 5%.

Os resultados da tabela 25 indicam não haver diferença significativa entre os teores dos cátions nas áreas queimadas e não queimadas. Pode-se observar também que há uma tendência, não testada, de redução gradual dos teores dos cátions a medida que se afasta da superfície.

TABELA 25 . TEORES DE CÁTIONS TROCÁVEIS  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$  E P NAS CAMADAS SUPERFICIAIS DO SOLO DE ÁREAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS.

TRATAMENTO	PROFUNDIDADE			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
$\text{Ca}^{+2}$ (meg.100g <sup>-1</sup> )				
Queimada	0.6	0.6	0.5	0.4
Não queimada	0.6	0.5	0.4	0.4
$\text{Mg}^{+2}$ (meg.100g <sup>-1</sup> )				
Queimada	0.4	0.3	0.3	0.2
Não queimada	0.3	0.3	0.2	0.2
$\text{K}^{+}$ (meg.100g <sup>-1</sup> )				
Queimada	0.10	0.07	0.06	0.04
Não queimada	0.09	0.07	0.05	0.04
$\text{P}$ (µg.g <sup>-1</sup> )				
Queimada	3.9	2.5	1.9	1.3
Não queimada	3.1	2.6	2.0	1.2

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo Teste T ao nível de 5%.

Embora não tenha sido detectada diferença significativa, todos os elementos analisados apresentam teores levemente maiores nas parcelas queimadas. Resultados similares têm sido encontrados por diversos pesquisadores. VEGA *et al.* (1983) analisando a variação da quantidade de nutrientes em função da queima em povoamentos de *P. pinaster* e *P. radiata* na Espanha, verificaram um pequeno aumento nas concentrações de Ca, Mg, K e P nas parcelas queimadas, embora não significativo estatisticamente.

Em um estudo realizado por KUTIEL & NAVEH (1987) em povoamentos de *Pinus halepensis* e *Quercus calliprinos* em Israel, verificou-se um aumento significativo de K e Mg nas áreas queimadas. McKEVLIN & McKEE (1986) analisando as propriedades químicas dos

solos de áreas queimadas de *Pinus taeda* nos EUA, observaram uma maior quantidade de P, K, Ca e Mg nos solos queimados. HUNT & SIMPSON (1985) analisaram os efeitos de queimas de baixa intensidade no crescimento e nutrição das árvores de um povoamento de *Pinus elliottii* em Queensland. Os resultados mostraram uma maior quantidade K, Ca e Mg nas parcelas queimadas.

#### 4.4.2 Nas árvores

##### 4.4.2.1 Altura de carbonização

A determinação da altura de carbonização foi efetuada apenas em 1991, primeiro ano da queima. As marcas da carbonização das cascas permanecem por vários anos. Deste modo, não há possibilidade de se determinar a altura de carbonização nas mesmas árvores, nos anos seguintes.

As médias de altura de carbonização obtidas para as queimas contra e a favor do vento foram respectivamente: 49,63 cm e 45,62 cm. Não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Diversos pesquisadores têm verificado a importância da determinação da altura de carbonização da casca das árvores, no estudo dos efeitos do fogo. PETERSON & ARBAUGH (1986) observaram que a altura de carbonização é altamente correlacionada com o crestamento da copa, sendo uma das variáveis utilizadas em modelos de regressão para estimar a probabilidade de sobrevivência das árvores de *Pseudotsuga menziesii* e *Pinus serotina* após a passagem do fogo. Da mesma forma, BROWN E DEBYLE (1987) utilizaram a altura média de carbonização da casca das árvores para estimar a probabilidade de sobrevivência das árvores de *Populus tremuloides* em Montpelier, Canadá.

Alguns pesquisadores têm observado que a altura de carbonização tem alta correlação com a intensidade do fogo (TOZZINI & SOARES, 1987; WEBER *et al.*, 1987; BATISTA *et al.*, 1993). Esse fato também foi observado neste trabalho, como pode se observar na tabela 26.

TABELA 26. CORRELAÇÕES ENTRE ALTURA DE CARBONIZAÇÃO DA CASCA DAS ÁRVORES ( $H_{CB}$ ) E VARIÁVEIS DO COMPORTAMENTO DO FOGO.

$H_{CB}$	VARIÁVEIS DO COMPORTAMENTO DO FOGO		
	I	r	$H_s$
Contra o vento	0,93 **	0,98 **	0,89 **
Favor do vento	0,59 **	0,88 **	0,71 **
Geral	0,79 **	0,66 **	0,81 **

\* Significativo ao nível de 95 % de probabilidade;

\*\* Significativo ao nível de 99 % de probabilidade.

As correlações obtidas entre  $H_{CB}$  e I confirmam os resultados de outros pesquisadores. No entanto, é importante observar que há uma variação bastante significativa nas correlações, quando se analisa separadamente as queimas contra e a favor do vento. Sabe-se, seguramente que uma forma bastante precisa de estimar a intensidade do fogo é através do comprimento da chama (BYRAM, 1959). No entanto, esta variável é extremamente difícil de ser medida, principalmente por ser confundida com a altura das chamas. Quando não há influência do vento, ou da inclinação do terreno, o comprimento da chama é praticamente igual a sua altura. Contudo, na presença do vento, ou de aclave, o comprimento será sempre maior que a altura. É possível, portanto que a altura de carbonização esteja mais associada com a altura das chamas e não ao seu comprimento, o que fatalmente leva a uma menor associação com a intensidade do fogo quando a queima está sob a influência do vento ou da inclinação. Os resultados da Tabela 26 parecem indicar isto, embora conclusões mais precisas não possam ser obtidas por não ter sido possível medir no momento das queimas a altura e o comprimento das chamas.

É importante observar também as altas correlações obtidas entre a altura de carbonização e a velocidade de propagação e a altura de crestamento (colunas 2 e 3 da tabela 26). Neste caso também há variação das correlações em função da técnica utilizada. Estas correlações mostram a importância da altura de carbonização tanto na descrição do comportamento do fogo como na avaliação dos efeitos sobre as árvores.

#### 4.4.2.2. Altura de crestamento

Na tabela 27 estão apresentadas as médias de altura de crestamento por ano e por tipo de queima.

As menores médias ocorreram nas queimas de 1992, com valores próximos a 0,5 m. As queimas de 1993 apresentaram a maior média global, com 2,8 m.

Considerando-se os tipos de queima, embora em todos os anos as médias das queimas a favor do vento tenham sido maiores, apenas no ano de 1993 houve diferença significativa entre elas. Na média geral, considerando-se conjuntamente os 4 anos, a análise estatística mostrou diferença significativa entre as queimas contra e a favor do vento. Neste caso a média das queimas a favor do vento foi praticamente o dobro da média das queimas contra o vento.

TABELA 27. ALTURA DE CRESTAMENTO ( Hs ), EM M, POR ANO E POR TIPO DE QUEIMA.

ALTURA DE CRESTAMENTO(Hs)			
Ano	Hs (m)	Tipo de Queima	Hs (m)
1991	1,66 b	Contra	1,52
		Favor	1,84
1992	0,52 a	Contra	0,47
		Favor	0,57
1993	2,80 c	Contra	1,70 *
		Favor	3,91 *
1994	1,05 ab	Contra	0,81
		Favor	1,26
Média	1,66	Contra	1,26 *
		Favor	2,09 *

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5 %.

Para as frequências de queima não houve diferença significativa entre as médias, como pode-se observar na tabela 28.

Considerando-se conjuntamente a frequência e o tipo de queima, houve diferença significativa apenas entre as médias da queima bianual a favor do vento e as demais.

A altura de crestamento é uma variável importante na avaliação dos efeitos do fogo sobre as árvores. Em trabalhos sobre avaliação dos efeitos do fogo, a altura de crestamento tem sido utilizada em modelos de estimativa de probabilidade de sobrevivência de árvores expostas à ação do fogo ( PETERSON & ARBAUGH, 1986; FINNEY & MARTIN, 1993). Conforme DE RONDE *et al.* (1990), perda de incremento geralmente só ocorre se houver acima de 50% de dano à copa da árvore. Por isso, como regra geral, recomenda-se cancelar a queima se a estimativa da altura de crestamento exceder 33% da altura média da copa das

árvores do povoamento. McARTHUR<sup>12</sup> (1971), citado por DE RONDE *et al.* (1990) sugere como limite de crestamento para *Pinus caribaea* 50 % da altura média das árvores do povoamento. METHVEN<sup>13</sup> (1971), citado por WAGNER (1973) afirma que povoamentos maduros de *Pinus resinosa* e *P. strobus* têm 50 % de chances de sobreviver a perdas de 3/4 de sua folhagem. JOHANSEN (1975) estudando os efeitos da queima controlada no crescimento de *P. elliotii*, verificou que um crestamento menor do que 40 % da folhagem da copa não provoca redução no crescimento da árvore.

Tomando-se como base o limite de 50 % da altura média das árvores do povoamento, proposto por McARTHUR<sup>11</sup> (1971) a altura máxima de crestamento para as parcelas estudadas ficaria entre 7 e 8 metros, muito acima dos valores observados nos quatro anos de queima. Portanto, não deve ter ocorrido dano por crestamento às copas das árvores.

TABELA 28. MÉDIA DE ALTURA DE CRESTAMENTO (Hs), EM m, POR FREQUÊNCIA E TIPO DE QUEIMA.

Freq. de queima	Hs (m)	Tipo de queima	Hs (m)
Anual	1,44 a	Contra	1,06 a
		Favor	1,75 a
Bianual	2,43 a	Contra	1,69 a
		Favor	3,29 b
Trienal	1,44 a	Contra	1,34 a
		Favor	1,61 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

<sup>12</sup>McARTHUR, A.G. Aspects of fire control in the *P. caribaea* and *P. elliotii* plantations of North Western Viti Levu Fiji Islands. **Memo. Rep.** Canberra, ACT, 45p. 1971.

<sup>13</sup>METHVEN, I.R. Prescribed fire, crown scorch, and mortality: field and laboratory studies on red and white pine. **Inf. Rep.**, Petawawa, Can. For. Serv., PS-X-31, 1971.

#### 4.4.2.3 Incremento

Analisando-se o incremento periódico de 1991 a 1994, verificou-se não haver diferença significativa entre as parcelas queimadas e não queimadas (tabela 29). No entanto, tanto o diâmetro como a altura sugerem maior crescimento nas parcelas queimadas, como pode-se observar na tabela 29.

TABELA 29. CRESCIMENTO EM DAP E ALTURA DAS ÁRVORES DE *Pinus taeda*, NO PERÍODO DE 1991 A 1994, EM PARCELAS QUEIMADAS E NÃO QUEIMADAS.

INCREMENTO PERIÓDICO - 1991 A 1994		
Tratamento	Diâmetro (cm)	Altura (m)
Queimado	0,52	0,87
Não queimado	0,49	0,48

Pares de médias seguidas de "\*\*\*" diferem entre si pelo Teste de T ao nível de 5%.

Na tabela 30 estão apresentados os incrementos de diâmetro e altura, por frequência de queima.

Pelos resultados da tabela 30 observa-se que não houve diferença significativa quando se analisou o crescimento em diâmetro. Para as alturas houve diferença entre os tratamentos. As queimas anuais apresentaram o dobro do incremento apresentado nas queimas bianuais e nas parcelas não queimadas (testemunhas). Já o incremento nas queimas trienais foi semelhante ao das queimas anuais.

TABELA 30. CRESCIMENTO EM DAP E EM ALTURA DAS ÁRVORES DE *Pinus taeda*, POR FREQUÊNCIA DE QUEIMA, NO PERÍODO DE 1991 A 1994.

INCREMENTO PERIÓDICO - 1991 A 1994		
Frequência	DAP (cm)	Altura (m)
Anual	0,55 a	1,15 b
Bianual	0,48 a	0,54 a
Trienal	0,53 a	0,93 ab
Testemunha	0,49 a	0,48 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de SNK ao nível de 5%.

Quanto ao tipo de queima, não houve diferença significativa entre os incrementos das parcelas queimadas contra e a favor do vento, como mostra a tabela. 31.

TABELA 31. CRESCIMENTO EM DAP E ALTURA DAS ÁRVORES DE *Pinus taeda*, EM PARCELAS QUEIMADAS CONTRA E A FAVOR DO VENTO, NO PERÍODO DE 1991 A 1994

INCREMENTO PERIÓDICO - 1991 A 1994		
TRATAMENTO	DAP (cm)	Altura (m)
Contra o Vento	0,55	0,98
Favor do vento	0,49	0,75

Pares de médias seguidas de "\*" diferem entre si pelo teste T ao nível de 5%.

De uma maneira geral, os resultados indicam que as queimas não provocaram redução no crescimento das árvores. Isto tem se verificado em outros experimentos, quando as queimas são de baixa intensidade. HUNT & SIMPSON (1985), analisando os efeitos da queima controlada no crescimento de *Pinus taeda* durante nove anos, após repetidas queimas, no Sudeste de Queensland, também não observaram diferenças no crescimento do diâmetro e da

altura das árvores. Os autores concluem que não ocorrendo crestamento da copa, não há efeitos no crescimento. Já JOHANSEN (1975), observou um aumento no crescimento das árvores de *Pinus elliotii*, quando não houve crestamento. CAIN (1985) observou que o crescimento é significativamente reduzido à medida que aumenta o crestamento. GRELEN (1983) constatou que em povoamentos de *Pinus elliotii* o crescimento foi melhor em parcelas não queimadas, embora não significativamente melhor do que as parcelas queimadas a cada três anos. Observou também que não houve diferença entre as frequências de queima analisadas. GRUSCHOW (1952) concluiu que o crescimento, tanto em diâmetro como em altura, foi significativamente reduzido pela queima a favor do vento em povoamentos de *Pinus caribaea* e não houve alteração no crescimento quando a queima foi contra o vento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na realização deste trabalho, além dos parâmetros já abordados, outros aspectos, alguns de caráter empírico, foram analisados. É importante mencionar estes aspectos porque ajudam esclarecer alguns pontos e podem facilitar a realização de trabalhos futuros.

O inventário da quantidade de material combustível é fundamental para a avaliação da eficiência da queima. No entanto, a sua realização é lenta, onerosa e requer pessoal qualificado. Há necessidade de se desenvolver e testar métodos mais rápidos e eficientes, como equações de regressão baseadas em parâmetros dendrométricos de fácil obtenção e/ou idade dos povoamentos.

A maior dificuldade para realização das queimas foi estabelecer o provável dia ideal para queimar. O cronograma inicial estabelecia que em todos os anos as queimas seriam realizadas entre os meses de junho e julho. No entanto, as condições meteorológicas, principalmente precipitação e ventos, impossibilitaram as queimas de 1991 e 1993 neste período. A escolha acertada da data é um passo decisivo para o sucesso da queima. Para isso é necessário o monitoramento das condições climáticas no início ou no final da estação de perigo de fogo. Mesmo assim, poucos são os dias que apresentam condições meteorológicas compatíveis com a prescrição das queimas.

A definição da técnica de queima a ser utilizada depende das condições do local, principalmente da topografia, quantidade de material combustível, e das condições meteorológicas no dia da queima. A bibliografia recomenda que se utilize a queima contra o vento sempre que se vai realizar a primeira redução de material combustível de uma área. No entanto, em povoamentos de maior idade, com árvores mais resistentes, a utilização da queima em faixas a favor do vento, como demonstrado neste trabalho, pode ser boa opção.

Para se definir o intervalo ideal entre as queimas é necessário analisar a evolução da quantidade e do tipo do material combustível, que por sua vez depende das condições do sítio,

do tipo de manejo e da idade do povoamento. Considerando que as queimas consumiram em média  $400 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  do material combustível existente e que a deposição anual em sítios similares varia entre 400 e  $500 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  (KOEHLER, 1989), queimas anuais seriam pouco eficientes e desnecessárias, como realmente se verificou. Queimas bianuais ou trienais seriam mais recomendáveis. No entanto, queimas trienais podem ser excessivamente intensas, devido o acúmulo de material combustível, sendo mais difíceis de serem conduzidas, podendo trazer danos ao povoamento. No caso específico deste experimento isto não ocorreu porque a queima trienal foi realizada em condições de alta umidade de material combustível. Para as queimas bianuais, embora as condições de queima tenham sido ótimas, o fogo se manteve dentro de condições controladas, com a máxima intensidade verificada não ultrapassando  $64 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  devido a moderada acumulação do material combustível. É bom lembrar que a cada acréscimo de  $400 \text{ g.m}^{-2}$  de material combustível corresponde um acréscimo potencial de  $16 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  de intensidade, desde que as demais condições se mantenham constantes.

Mediante a utilização das variáveis do comportamento do fogo, principalmente  $I$  e  $r$ , é possível se ter uma definição clara das condições de queima.

Para uma melhor avaliação dos efeitos do fogo há necessidade de estudos de prazo mais longo. Além disso, é recomendável experimentos de queima com níveis de intensidade mais próximos de valores críticos, talvez entre 50 e  $150 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ . É importante também avaliar os efeitos da queima em povoamentos mais jovens, logo após o fechamento do dossel.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste experimento permitem concluir que:

1. As queimas realizadas reduziram a quantidade do material combustível depositado no piso da floresta, entre 21 e 45 % do peso seco total.

2. Nos anos analisados, apenas em 1993 detectou-se diferença entre as técnicas de queima com relação à redução do material combustível, quando as queimas contra o vento consumiram menor quantidade de combustível do que as queimas a favor do vento.

3. Não houve diferença na redução do material combustível em função das frequências de queima analisadas.

4. As parcelas queimadas apresentaram em média 50 % menos quantidade de material combustível do que as parcelas testemunha.

5. As queimas reduziram em média 32,5 % da espessura total da manta formada pela deposição de acículas no solo.

6. Existe forte associação entre peso e espessura da serapilheira, tanto antes como após as queimas.

7. As variáveis do comportamento do fogo: velocidade de propagação, intensidade e calor liberado, apresentaram variação semelhante nos tratamentos analisados:

- Para a intensidade e calor liberado as maiores médias se verificaram em 1993 e não houve diferença entre as frequências de queima; quanto a velocidade de propagação não houve diferença entre os anos e entre as frequências de queima.

- Para a velocidade de propagação e intensidade, a média das queimas a favor do vento foi maior que a das queimas contra o vento, fortemente influenciadas pelos resultados do ano de 1993.

- Para as médias do calor liberado não houve diferença entre as técnicas utilizadas.

8. O tempo de residência do fogo se manteve constante nos quatro anos analisados, demonstrando que não houve alteração nas características básicas dos combustíveis.

9. As médias das máximas temperaturas observadas durante a passagem do fogo em três níveis: sob a serapilheira, na superfície e a 1 metro de altura, tiveram variação distinta em função do ano e da técnica de queima; as queimas a favor do vento apresentaram médias maiores do que as queimas contra o vento na superfície e a 1 metro de altura, enquanto as queimas contra o vento apresentaram médias maiores do que as queimas a favor do vento sob a manta.

10. Houve influência da umidade relativa e da temperatura do ar na temperatura máxima medida durante a passagem do fogo, assim como forte correlação das variáveis do comportamento do fogo com as temperaturas observadas a 1 metro de altura.

11. Não houve alteração no crescimento das árvores, tanto em diâmetro como em altura, devido as queimas.

12. A altura de carbonização da casca das árvores mostrou ser uma variável importante na avaliação dos efeitos do fogo, por apresentar uma forte correlação com as variáveis que descrevem o comportamento do fogo.

13. As médias da altura de crestamento obtidas nos quatro anos analisados mostraram valores muito inferiores ao mínimo necessário para provocar danos às copas das árvores.

14. A análise do teor de nutrientes da serapilheira antes e depois da queima não mostrou alteração significativa.

15. Não houve alteração significativa na acidez do solo devido a queima.

16. Não foi detectada alteração significativa dos elementos  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{P}$  nas camadas superficiais do solo, após a queima.

17. Devido às diferentes condições de queima, os resultados não permitiram uma clara definição da técnica mais adequada para redução do material combustível no local analisado.

18. Embora as queimas bianuais tenham sido melhores do que as queimas anuais e trienais, devido as diferentes condições meteorológicas nos anos analisados, os resultados de

apenas um ciclo de queima não foram suficientes para estabelecer o intervalo ideal entre as queimas.

**ANEXO 1**  
**FORMULÁRIOS DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE CAMPO**

**ANEXO 1A**  
**QUEIMA CONTROLADA EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*.**  
**Ficha de Avaliação de Queima.**

Data: \_\_\_\_\_ Bloco: \_\_\_\_\_ Tratamento: \_\_\_\_\_

**1- Características do Povoamento**

Altura média das árvores (total): \_\_\_\_\_

Altura média da copa: \_\_\_\_\_ DAP Médio: \_\_\_\_\_

Nº de árvores na parcela: \_\_\_\_\_ Inclinação: \_\_\_\_\_

Obs.: \_\_\_\_\_

**2- Observações Meteorológicas**

Vento: \_\_\_\_\_

Temperatura do ar: \_\_\_\_\_ Umidade relativa: \_\_\_\_\_

Índice de perigo de incêndio: \_\_\_\_\_

Nº de dias sem chuva: \_\_\_\_\_

**3- Comportamento do fogo**

Técnica de queima utilizada: \_\_\_\_\_

Hora do início da queima: \_\_\_\_\_ Término: \_\_\_\_\_

Altura média das chamas: \_\_\_\_\_ Altura de crestamento: \_\_\_\_\_

Temperatura	antes	durante	depois
na superfície:	_____	_____	_____

sob a manta:	_____	_____	_____
--------------	-------	-------	-------

a 1 m altura:	_____	_____	_____
---------------	-------	-------	-------

**4- Avaliação da queima**

**I. Imediatamente após a queima**

Descoloração das acículas: \_\_\_\_\_

Altura de carbonização da casca das árvores: \_\_\_\_\_

Material combustível consumido: \_\_\_\_\_

Obs.: \_\_\_\_\_

**II. Avaliação futura**

Data: \_\_\_\_\_

Crestamento da copa: \_\_\_\_\_

Danos ao tronco: \_\_\_\_\_

Obs.: \_\_\_\_\_

**ANEXO 1B**  
**QUEIMA CONTROLADA EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda*.**  
**Ficha de levantamento de material combustível antes e depois da queima**

Bloco:..... Tratamento:..... Amostra:.....				
Classe de material	Quantidade total / m <sup>2</sup>		Sub-amostra	
	P. úmido	P. seco	P. úmido	P. seco
Acículas				
0 - 0.7 cm				
0.7 - 2.5 cm				
2.5 - 7.6 cm				
Total				

Bloco:..... Tratamento:..... Amostra:.....				
Classe de material	Quantidade total / m <sup>2</sup>		Sub-amostra	
	P. úmido	P. seco	P. úmido	P. seco
Acículas				
0 - 0.7 cm				
0.7 - 2.5 cm				
2.5 - 7.6 cm				
Total				

Bloco:..... Tratamento:..... Amostra:.....				
Classe de material	Quantidade total / m <sup>2</sup>		Sub-amostra	
	P. úmido	P. seco	P. úmido	P. seco
Acículas				
0 - 0.7 cm				
0.7 - 2.5 cm				
2.5 - 7.6 cm				
Total				

Bloco:..... Tratamento:..... Amostra:.....				
Classe de material	Quantidade total / m <sup>2</sup>		Sub-amostra	
	P. úmido	P. seco	P. úmido	P. seco
Acículas				
0 - 0.7 cm				
0.7 - 2.5 cm				
2.5 - 7.6 cm				
Total				



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, H.E.; BROWN, J.K. Fuel characteristics and fire behavior considerations in the wildlands. In: FISCHER, W.C. and ARNO, S.F. Compilers. Protecting people and homes from wildfires in the interior west. Proceedings of the Symposium and Workshop, 1987 october, Missoula, MI. **General Technical Report**. Ogden, U.S.D.A. Forest Service, INT-251, 1988, p.124-130.
- ANDERSON, H.E.; SCHUETTE, R.D.; MUTCH, R.W. Timelag and equilibrium moisture content of ponderosa pine needles. **Res.Pap.**, U.S.D.A. Forest Service, INT-202, 28p, 1978.
- ANDREWS, P. BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system - burn subsystem, Part 1. **Gen. Tech. Rep.**, Ogden, U.S.D.A. Forest Service, INT-194, 130p, 1986.
- AUSTIN, R.C.; BAISINGER, D.H. Some effects of burning on forest soils of western Oregon and Washington. **Journal of Forestry**, Washington, n.53, p.275-280, 1955.
- BATISTA, A.C. **Determinação de umidade do material combustível sob povoamentos de *Pinus taeda***. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, UFPR. 61p, 1984.
- BATISTA, A.C.; LIMA, G.S.; SOARES, R.V. Altura de carbonização da casca das árvores com estimador da intensidade do fogo em queima controlada. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (7.:1993: Curitiba) E CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO (1: 1993: Curitiba). **Anais**. Curitiba: SBS-SBEF, 1993. p.169-171.
- BEAUFAIT, W.R. Characteristics of backfires and headfires in a pine needle fuel bed. **Research Note** Ogden, U.S.D.A. Forest Service, SO-39, 7p, 1965.
- BELL, R.L.; BINKLEY, D. Soil nitrogen mineralization and immobilization in response to periodic prescribed fire in a loblolly pine plantation. **Can. J. For. Res.**, Ottawa, v.19, p.816-820, 1989.
- BIDWELL, T.G.; ENGLE, D.M. Behavior of headfires and backfires on tallgrass prairie. In: International Symposium : Fire and the environment: Ecological and cultural perspectives (1990: Knoxville). **Proceedings**. Gen. Tech. Rep. , U.S.D.A Forest Service, 1991,SE-69, p.344-350.
- BOTELHO , H; REGO, F.C.; VAREJÃO, E.; FERNADES, P. **Caracterização de combustíveis florestais: sua utilização na previsão do comportamento do fogo**. Junta Nacional de Investigação Científica-JNICT., 11p., np, 1990.

- BOTELHO, H.; CABRAL, M.T. Efeitos ecológicos dos incêndios e do fogo controlado sobre o estrato arbóreo. In: REGO, F.C.; BOTELHO, H.S. **A técnica do fogo controlado**. Alto Douro: Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, 1990, p.77-83.
- BROWN, A.A.; DAVIS, K.P. **Forest Fire - Control and use**. New York, Mc Graw Hill, 2nd Ed., 686p., 1973.
- BROWN, J.K.; DEBYLE, N.V. Fire damage, mortality and suckering in aspen. **Can. J. For. Res**, Ottawa, v.17, p.1100-1109, 1987.
- BURGAN, R. E.; ROTHERMEL, R.C. BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system - FUEL subsystem. **Gen. Tech. Rep.**, Ogden, U.S.D.A. Forest Service, INT-167, 126p, 1984.
- BURROWS, N.D.; WOODS, Y.C.; WARD, B.G.; ROBINSON, A.D. Prescribed low intensity fire to kill wildings in *Pinus radiata* plantations in western Australia. **Australian Forestry**, v.52, n.1, p.45-52, 1989.
- BYRAM, G.M.. Combustion of forest fuels. In: DAVIS, K.P.. **Forest Fire - Control and use**. New York: McGraw Hill, 1959, p.77-84.
- CAIN, M.D. Height of stem-bark char underestimates flame length in prescribed burns. **Fire Management Notes** , U.S.D.A. Forest Service, v.45, n.1, p.17-21, 1984.
- CAIN, M.D. Prescribed winter burns can reduce the growth of nine year old loblolly pines . **Research Note** , New Orleans, U.S.D.A. Forest Service, SO-312, 4p, 1985.
- COVINGTON, W.W.; SACKETT, S.S. The effect of prescribed burn in southwestern ponderosa pine in organic matter and nutrients in woody debris and forest floor. **Forest Science**, Washington, v.30, p.183-192, 1984.
- DAVIS, J.R., FFOLLIOTT, F.; CLARY, W.P. A fire prescription for consuming ponderosa pine duff. **Research Note**, U.S.D.A. Forest Service, RM-115, 4p, 1968.
- DE BANO, L.F. Effects of fire on chaparral soils in Arizona and California and postfire management implications. In: Symposium on Fire and Watershed Management (1988: Sacramento). **Proceedings**. Gen Tech. Rep., U.S.D.A. Forest Service, Berkeley, PSW-109, 1989, p.55-62.
- DE RONDE, C.;GOLDAMMER, J.G.;WADE, D.D.; SOARES, R.V. Prescribed fire in industrial plantations. In: GOLDAMMER, J.G. (ed.). **Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges**. Berlin: Springer-Verlag, 1990, p.216-272, (Ecological Studies, Vol.84).
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1979.

- FAHNESTOCK, G.R.; HARE, R.C. Heating of tree trunks in surface fires. **Journal of Forestry**, Washington, v.62, n.11, p. 799-805, 1964.
- FFOLIOTT, P.F. CLARY, W.P.; DAVIS, J.R. Some characteristics of the forest floor under ponderosa pine in Arizona. **Research Note**, Flagstaff, U.S.D.A. Forest Service, RM-127, 4p., 1968.
- FFOLIOTT, P.F.; CLARY, W.P.; LARSON, F.R. Effects of a prescribed fire in an Arizona ponderosa pine forest. **Research Note**, Flagstaff, U.S.D.A. Forest Service, RM-336, 4p., 1977.
- FINNEY, M.A.; MARTIN, R.E. Modeling effects of prescribed fire on young-growth coast redwood trees. **Can. J. For. Res.**, Ottawa, v.23, p.1125-1135, 1993.
- FOSBERG, M.A. Forecasting the 10-hour timelag fuel moisture. **Res. Pap.**, U.S.D.A. Forest Service, RM-287, 10p, 1977.
- FRANSEN, W.H.; RYAN, K.C. Soil moisture reduces belowground heat flux and soil temperatures under a burning fuel pile. **Can. J. For. Res.**, Ottawa, v.16,n.2, p.244-248, 1986.
- GILMOUR, D.A.; CHENEY N.P. Experimental prescribed burn in radiata pine. **Aust. For.**, v.32, n.3, p.171-178, 1968.
- GOLDAMMER, J.G. Controlled burning for stabilizing pine plantations. In: NAO, T. Van. 1982. Forest Fire Prevention and Control. United Nations Economic Commission for Europe. **Proceedings** of an International Seminar organized by the timber Committee of the United Nations Economic Commission for Europe, Poland, 1981. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, 1982, p.199-207.
- GOLDAMMER, J.G. Kontrolliertes brennen in feuer-management südbrasilianischer kiefernforstungen. In: GOLDAMMER, J.G. (Hrsg.). **DFG-Symposium "Feuerökologie"**. Albert Ludwigs- Universität Freiburg i. Br., p.211-239, 1983a.
- GOLDAMMER, J.G. **Sicherung des südbrasilianischen kiefernbaues durch kontrolliertes Brennen**, Hochschul-Verlag Freiburg, Forstwirtschaft. Bd 4, 183pp, 1983b.
- GREEN, L.R. Burning by prescription in Chaparral. **General Technical Report**, Berkeley, U.S.D.A. Forest Service, PSW-51, 36p, 1981.
- GRELEN, H.E. Comparison of seasons and frequencies of burning in young slash pine plantation. **Research Paper**, New Orleans, U.S.D.A. Forest Service, SO-185, 5p, 1983.
- GRUSCHOW, G.F. Effect of winter burning on growth of slash pine in the Flatwoods. **Journal of Forestry**, Washington, v.50, n.7, p.515-517, 1952.
- HAIGH, H. A preliminary report on controlled burning trials in pine plantation in Natal. **South African Forestry Journal**, n.113, p.53-58, 1980.

- HARDWOOD, C.E.; JACKSON, W.D. Atmospheric losses of four plant nutrients during a forest fire. **Australian Forestry**, v.38, n.2, p.92-99, 1975.
- HILDEBRAND, C. Manual de análise química de solo e de plantas. Curitiba: UFPR, 1976. (mimeografado).
- HOUGH, W.A. Fuel consumption and fire behavior of hazard reduction burns. **Research Paper**, Asheville, U.S.D.A. Forest Service, SE-36, 7p, 1968.
- HUNT, S.M.; SIMPSON, J.A. Effects of low intensity prescribed fire on the growth and nutrition of slash pine plantation. **Aust. For. Res.**, v.15, p.67-77, 1985.
- HUSCH, B.; MILLER, C.I; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 3ed. New York: John Wiley & Sons, 402 p., 1982.
- IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul**, v.2. Rio de Janeiro, 420p, 1990.
- JOHANSEN. R.W. Prescribed burning may enhance growth of young slash pine. **Journal of Forestry**, Washington, v.73, n.3, p.148-149, 1975.
- JOHNSON, Von J. The dilemma of flame length and intensity. **Fire Management Notes**, U.S.D.A. Forest Service, p.3-6, 1982.
- JULIO, G.; GIROZ, G.. Notas sobre el comportamiento del fuego y su aplicacion en el control de incendios forestales. **Bosque**, v.1, n.1, p.18-27, 1975.
- KARLIKOWSKI, T. Effect of fire on the plant environment in pine forests. In: GOLDAMMER, J.G.(HRSg). **DFG - Symposium "Feuerökologie"**. Albert Ludwigs - Universitat Freiburg i.Br. 1983. p.240-246.
- KAUFFMAN, J.B.; MARTIN, R.E. Fire behavior, fuel consumption, and forest-floor changes following prescribed understory fires in Sierra Nevada mixed conifer forests. **Can. J. For. Res.**, Ottawa, v19, p.455-462, 1989.
- KOEHLER, C.W. **Variação estacional de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Ponta Grossa-Pr na região de Ponta Grossa-Pr**. Curitiba. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - SCA, UFPR. 148p., 1989.
- KUTIEL, P.; NAVEH, Z. Soil properties beneath *Pinus halepensis* and *Quercus calliprinos* trees on burned and unburned mixed forest on Mt. Carmel, Israel. **For. Ecol. and Manag.**, Amsterdam, v.20, p.11-24, 1987.
- LOETSCH, F.Z.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. Berlin: BLV, V.2. 469p, 1973.
- MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba: BADEP/UFPR/IBPT, 350p, 1968.

- MAGGS, J. Organic matter and nutrients in the forest floor of a *Pinus elliotti* plantation and some effects of prescribed burning and superphosphate addition. **For. Ecol. and Manag.**, Amsterdam, v.23, p.105-109, 1988.
- MARTIN, R.E. Prescribed burning techniques to maintain or improve soil productivity. In: HOBS,S.D.; HELGERSON,O.T.(eds). Reforestation of skeletal soils: **Proceedings of a workshop**; 1981 November 17-19; Medford, OR. Corvallis,OR: Forest Research Laboratory, Oregon State University; 1981, p.66-70.
- MARTIN, R.E.; COOPER, R.W. ; CROW, A.B., CUMING, J.A; PHILIPS, C.B. Report of task force on prescribed burning. **Journal of Forestry**, Washington, v.75, n.5, p.297-301, 1977.
- McARTHUR, A.G. Control burning of eucalypt forests. **Leaflet**, Camberra, Dep. of Development, Forestry and Timber Bureau, n.80, 1962.
- McARTHUR, A.G.; CHENEY, N.P. The characterization of fires in relation to ecological studies. **Aust. For. Res**, v.2, n.3, p.36-45, 1966.
- McKEE, W.H. Jr. Changes in soil fertility following prescribed burning on Coastal Plain pine sites. **Res. Pap.**, Asheville, U.S.D.A. Forest Service, SE-234, 23p., 1982.
- McKEVLIN, M.R.; McKEE, W.H.Jr. Long term prescribed burning increases nutrient uptake and growth of loblolly pine seedlings. **For. Ecol. Manage**, Amsterdam, v.17, p.245-252, 1986.
- McRAE, D.J.; ALEXANDER, M.E.; STOCKS, B.J. Measurement and description of fuels and fire behavior burns: A handbook. **Report** , Ontario: Canadian Forest Service, Department of the Environment,O-X-287, 44p, 1979.
- PARANÁ, SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do estado do Paraná**. Curitiba, 73p. Ilustrado, 1987.
- PETERSON, D.L.; ARBAUGH, M.J. Postfire survival in Douglas-fir and lodgepole pine: comparing the effects of crown and bole damage. **Can. J. For. Res.**, Ottawa, p.16, p.1175-1179, 1986.
- PRITCHETT, W.L. Properties and management of forest soils. New York: Wiley. 499p, 1979.
- REGO, F.G.; SILVA, J.M.; CABRAL, M.T. The use of prescribed burning in the Northwest of Portugal. In: GOLDAMMER,J.G.(HRSg). **DFG - Symposium "Feuerökologie"**. Albert Ludwigs - Universitat Freiburg i.Br. p.88-104, 1983.
- REISSMANN, C. B. Morfologia dos horizontes de humus em florestas de coníferas exóticas no sul do Brasil. **Rev. Set. Ciênc. Agr.**, Curitiba, v.5, p.11-16, 1983.

- RIGOLOT, E. Combustíveis. In: REGO, F.C. e BOTELHO, H.S. **A técnica do fogo controlado**. Alto Douro: Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, p.35-48, 1990.
- ROTHERMEL, R.C. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. **General Technical Report**, Ogden, U.S.D.A. Forest Service, INT-143, 161p., 1983.
- ROTHERMEL, R.C.; DEEMING, J.E. Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects. **General Technical Report**, Ogden, U.S.D.A. Forest Service, INT-93, 4p., 1980.
- SACKETT, S.S. Scheduling prescribed burns for hazard reduction in the southeast. **Journal of Forestry**, Washington, v.73, n.3, p.143-147, 1975.
- SACKETT, S.S. Reducing natural ponderosa pine fuels using prescribed fire: two case studies. **Research Note**, Fort Collins, U.S.D.A. Forest Service, RM-392, 5p, 1980.
- SCHOCH, P.; BINKLEY, D. Prescribed burning increased nitrogen availability in a mature loblolly pine stand. **For. Ecol. Manag.**, Amsterdam, v.14, n.1, p.13-22, 1986.
- SCHROEDER, M.J.; BUCK, C.C. **Fire weather - a guide for application of meteorological information to forest fire control operations**. Washington: USDA Forest Service, 229p, 1970. (Agriculture Handbook; n.251).
- SIMS, H.P. The effect of prescribed burning on some physical soil properties of jack pine sites in southeastern Manitoba. **Can. J. For. Res.**, Ottawa, v.6, p.58-68, 1976.
- SOARES, R.V. Queima controlada em plantações de *Pinus* spp na região de Sacramento, MG. **Revista Floresta**, Curitiba, v.10, n.2, p. 33-40, 1979.
- SOARES, R.V. **Incêndios Florestais - controle e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 213p, 1985.
- SOARES, R.V. Effects of a pine plantation prescribed burning on soil chemical properties in the savanna region of Minas Gerais state, Brasil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH (1, 1990, Coimbra). **Proceedings**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 1990, p.C.06-C.09.
- SOARES, R.V.; HAKKILA, P. Potencial energético dos resíduos de desbastes em plantações de *Pinus taeda* no estado do Paraná, Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v.15, p.73-94, 1984.
- SPURR, S.; BARNES, R. **Forest Ecology**. New York: McGraw Hill, 545p., 1975.
- TOZZINI, D.S; SOARES, R.V. Relações entre comportamento do fogo e danos causados a um povoamento de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, Curitiba, v.17, n.1 e 2, p.9-13, 1987.

- TREVISAN, E.; REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C.W.; LIMA, J.M.J.C. Morfologia de horizontes orgânicos acumulados sob povoamentos de *Pinus taeda* L. em três sítios distintos. **Rev. Set. Ciênc. Agr.**, Curitiba, v.9, p.59-62, 1987.
- VEGA, J.A.; BARA, S.; GIL, M.C. Prescribed burning in pine stands for fire prevention in the N.W. of Spain: some results and effects. In: GOLDAMMER, J.G. (HRSg). **DFG - Symposium "Feuerökologie"**. Albert Ludwigs - Universität Freiburg i.Br. 1983, p.49-73.
- WADE, D.D.; LUNSFORD, J.D. A guide for prescribed fire in Southern forests. **Technical Publication**, Atlanta, U.S.D.A. Forest Service, R8-TP11, 56p., 1989.
- WAGNER, C.E. Van. Height of crown scorch in forest fires. **Can. J. For. Res.**, Ottawa, v.3, n.3, p.373-378, 1973.
- WALDROP, T.A.; Van LEAR, D.H.; LLOYD, F.T.; HARMS, W.R. Long-term studies of prescribed burning in loblolly pine forests of the southeastern coastal plain. **Gen. Tech. Rep.**, Asheville, U.S.D.A. Forest Service, SE-45, 22p., 1987.
- WEBER, M.G.; HUMMEL, M.; WAGNER, C.E. Van. Selected parameters of fire behavior and *Pinus banksiana* Lamb. regeneration in Eastern Ontario. **For. Chron.**, v.63, n.5, p.340-346, 1987.
- WELLS, C.; CAMPBELL, R.E.; DE BANO, L.F.; LEWIS, C.E.; FREDRICKSEN, R.L.; FRANKLIN, E.C.; FROELICH, R.C.; DUNN, P.H. Effects of fire on soil: a state of knowledge review. **Gen. Tech. Rep.**, Washington, U.S.D.A. Forest Service, 34p. 1979.