



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

**RESISTÊNCIA DAS ÁRVORES DO CERRADÓ AO FOGO:
PAPEL DA CASCA COMO ISOLANTE TÉRMICO**

DAMIÃO MACIEL GUEDES

Dissertação apresentada ao Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

BRASÍLIA, MARÇO DE 1993

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**

**RESISTÊNCIA DAS ÁRVORES DO CERRADO AO FOGO:
PAPEL DA CASCA COMO ISOLANTE TÉRMICO**

DAMIÃO MACIEL GUEDES

Dissertação apresentada ao Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em ecologia

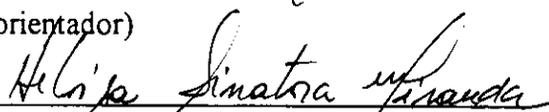
Brasília, março de 1993

Trabalho realizado junto ao Departamento de Ecologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Carlos Miranda, com o auxílio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPQ e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES.

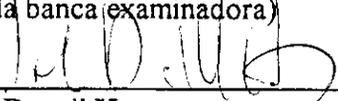
Aprovado por:



Prof. Antonio Carlos Miranda
(orientador)



Prof. Heloisa Sinatora Miranda
(membro da banca examinadora)



Prof. John Duvall Hay
(membro da banca examinadora)

A minha esposa Edna

Aos meus filhos Pedro e Mariana

Aos meus pais Jorge e Sofia

À Vania

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xvii
Introdução	1
Estratégias de proteção ao fogo	6
Resistência das árvores ao fogo	9
Fogo no Cerrado	12
Material e métodos	19
Área de estudo	19
Espécies estudadas	21
Levantamento da espessura das cascas das espécies de um Cerrado denso	22
Resistência térmica da casca	22
Simulação	25
Modelo matemático para determinar a temperatura do câmbio durante as queimadas	27
Queimadas controladas	37
Teor de água das cascas	37

Resultados e discussão	39
Taxas de aumento de temperatura	39
Determinação das constantes a e b do modelo matemático	46
Determinação da temperatura do câmbio por modelagem matemática	47
Comparação dos resultados do modelo com os dados coletados nas queimadas realizadas na RECOR- IBGE	57
Teor de água das cascas	72
Percentual de classes de espessura de casca na comunidade de um Cerrado denso e a proteção contra o fogo	78
Discussão das hipóteses assumidas no modelo	81
Manejo do fogo	82
Conclusões	87
Referências bibliográficas	89
Anexo	
Percentual de indivíduos em cada classe de espessura de casca	100

AGRADECIMENTOS

Agradeço às seguintes instituições:

- Ao IBAMA, por possibilitar o desenvolvimento deste trabalho
- Ao Departamento de Ecologia da UnB, pelo apoio
- À CAPES pelo apoio financeiro
- Ao USDA- FOREST SERVICE, especialmente ao Dr. P. Riggan, por nos possibilitar a utilização do Datalogger Campbell 21x.

- Apresento também os maiores agradecimentos às seguintes pessoas:

Ao Prof. Antonio Carlos Miranda, pela valiosa orientação e amizade

Ao Benedito Pereira pelo apoio em todos os momentos

À Vânia de Araújo Soares e Mirian Carvalho por me ajudarem sempre

À Profa. Heloisa Miranda pela revisão do texto e por ter sido de grande importância na minha formação durante o curso

À Profa Linda Caldas pela ajuda na visualização do estudo

Ao Marinho pela brilhante atuação nos trabalhos de campo

Aos funcionários do IBGE, principalmente à Helena, Roberta, Chiquinho, Ezequiel, Diassis, Célio e Cleuber

Aos amigos do LPF-IBAMA, especialmente Vera Coradim, Rita Pereira, José Arlete, Rita Ibarra, Issamar e Edimilson

Aos amigos do IBAMA, Paulo Macedo, Jorge Luis Reis e Roseana Trein

Às amigas Cláudia Mello Rosa e Alba Ramos pela gentil colaboração

Aos amigos de curso Rodrigo, Guilherme, Myrna e Virgínia

Ao Márcio Beraldo e Zilda Faria pela cessão do computador e amizade

Aos funcionários do Deptº de Ecologia

Ao Duílio, pelo apoio na impressão dos gráficos

À Lígia, pelo apoio sempre que foi necessário

À Cláudia Gomes, pelo gentil apoio na tradução do abstract

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma ajudaram neste trabalho

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo determinar os efeitos do fogo sobre a vegetação lenhosa do Cerrado. A resistência e a susceptibilidade dessa vegetação foram definidas em função da espessura da casca de determinadas espécies, uma vez que este é um dos fatores mais importantes e mais variável na determinação da sua capacidade de resistência térmica, tanto a nível da comunidade quanto para cada espécie individualmente. Inicialmente determinou-se, através de modelagem matemática, a temperatura máxima a que chega o cambio durante uma queimada. Assumindo que a temperatura de 60°C causa morte do cambio, foi possível verificar abaixo de que espessura da casca o fogo pode danificar esse tecido. Com base nos dados de percentual de indivíduos em cada classe de espessura de casca, obteve-se o percentual de indivíduos da comunidade e de cada espécie em particular, que teriam o cambio danificado após a passagem do fogo.

Experimentos de campo foram realizados para simulação do fogo em 56 indivíduos pertencentes a 19 espécies, aplicando-se uma fonte térmica (promovida por resistência elétrica) de 100, 200, 300 e 400°C na superfície da casca até que o cambio alcançasse a temperatura de 60°C. Com esses dados pôde-se relacionar a taxa de aumento de temperatura do cambio com a espessura da casca. Essa correlação permitiu que se elaborasse um modelo matemático sensível ao tempo de duração e à temperatura máxima alcançada pela queimada, à temperatura inicial do câmbio e à espessura da casca. Foi realizada também uma análise preliminar da variação sazonal do teor de água das cascas. Por fim, foram medidas as temperaturas do cambio e da superfície das cascas de seis espécies lenhosas, durante as queimadas controladas realizadas na RECOR/IBGE, no ano de 1992.

Os resultados referentes aos teores de água e às taxas de aumento de temperatura

indicam que há uma variedade de tipos de casca nas espécies do Cerrado, o que faz com que haja uma variação na resistência termofísica das cascas. Isto nos permite afirmar que o fogo atua no Cerrado de forma diferenciada para cada espécie, selecionando as mais resistentes.

O modelo indica que, para incêndios de cerca de 380°C e 0,7 minutos de duração (situação próxima a que ocorre no Cerrado), o câmbio das árvores cuja casca apresenta menos de 6mm de espessura alcança a temperatura letal de 60°C e é danificado.

Quanto às espécies que seriam mais ou menos afetadas pelos incêndios, de acordo com o percentual de indivíduos com cada classe de espessura de casca, pode-se destacar que *Symplocos lanceolata*, *Vochysia thyrsoidea*, *Caryocar brasiliense*, *Guapira noxia* e *Dalbergia miscolobium*, seriam menos afetadas em incêndios no Cerrado denso, por apresentarem menor número de indivíduos com câmbio danificado.

Por outro lado, *Qualea multiflora* e *Guapira graciliflora* seriam as espécies com maior número de indivíduos danificados, podendo até ser mortas em casos de incêndios muito intensos.

Comparando os resultados deste trabalho (que são referentes à resistência termofísica das cascas) com outros onde se definem as espécies como resistentes ou sensíveis ao fogo de acordo com a sua ocorrência ou não em áreas queimadas, observa-se que não há concordância. Isto nos indica que outros fatores têm importância na determinação da ocorrência ou não de espécies em áreas queimadas.

Esses fatores referem-se às características do ambiente, como a produção, distribuição e umidade do combustível, bem como a características intrínsecas das espécies, como o potencial de recolonizar áreas queimadas ou a capacidade de evitar o fogo.

Por fim, podemos concluir que apenas os incêndios que apresentam altas

temperaturas podem causar danos significativos às espécies lenhosas do Cerrado e que fogos controlados, de baixa intensidade, podem ser utilizados para fins de manejo, sem causão no número de árvores, desde que o regime de queima envolva períodos que permitam o recrutamento de novos indivíduos.

ABSTRACT

This work aims to determine the effects of fire on the woody vegetation of Cerrado. The resistance and the susceptibility of this vegetation were defined according to the thickness of the bark of certain species, since this is the most important and variable factor determining the thermal resistance at a community level as well as at the level of individual species. At first, the maximal temperature which a cambium reaches during a fire was determined through a mathematical model. Assuming that a temperature of 60 °C causes the cambium's death, it was possible to verify under which thickness of bark a fire could cause damage to the cambium. Based on the percentage of individuals per class of the thickness of the bark, we obtained the percentage of the individuals of the community and of each species particularly, which could have the cambium damage after a fire.

Field experiments were performed with 56 individuals, belonging to 19 species, simulating a fire, with a thermal source (provided by electric resistance) of 100, 200, 300, 400° C at the surface of the bark, until the cambium reached the temperature of 60° C. With these data, it is possible to relate the rate of increase of the cambium's temperature with the thickness of the bark. This correlation allowed the elaboration of a mathematical model sensitive to the length of time and the temperature of the fires, to the initial temperature of the cambium and to the thickness of the bark. A preliminary analysis of the seasonal variation of water concentration in the bark was performed. Finally, the temperature of the cambium and of the surface of the barks of six woody species were measured during controlled fires, which took place in RECOR-IBGE.

The results referring to the water concentration and to the increase of temperature indicate that there are a variety of bark types among the species of Cerrado, which provides a variety of thermophysic resistance of the barks. It is possible to affirm

that, in the Cerrado, fire acts differentially towards each species, selecting the most resistant ones.

The model indicates that for fires reaching around 380 °C and of 0,7 minute-duration (a situation similar to that which occurs in the Cerrado), the cambium of those trees whose bark is less than 6mm thickness reaches the lethal temperature of 60 °C and is destroyed.

In dense Cerrado, according to the percentage of individuals in each class of bark thickness, we can say that *Symplocos lanceolata*, *Vochysia thyrsoidea*, *Caryocar brasiliense*, *Guapira noxia*, and *Dalbergia miscolobium* would be less affected by fire in dense Cerrado because they present a smaller number of individuals with damaged cambium.

On the other hand, *Qualea multiflora* and *Guapira graciliflora* would be the species with the highest number of damaged individuals, possibly becoming extinct in the case of a very intense fire.

Comparing the results of this work (which are related to the thermo-physical resistance of the barks) with others, in which the species are defined as resistant or sensitive to fire according to their occurrence or absence in burned areas, it is possible to observe that there is no agreement. This indicates that other factors are important to determine the occurrence or absence of species in burned areas.

These factors consist of characteristics of the environment, such as the production, distribution and humidity of the fuel, as well as the intrinsic characteristics of the species, such as their potential to recolonize burned areas or their capacity to avoid fire.

Finally, we can conclude that only fires of great intensity can cause significant damage to the woody species of the Cerrado and that controlled fires of low

intensity may be used for the management of areas, without causing significant reduction of tree density, as long as the method of burning would permit recruitment of new individuals.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Instalação de equipamentos para medição da temperatura do câmbio e superfície da casca durante as queimadas. 31
- Figura 2 - Instalação de termopares para medição de altas temperaturas na superfície da casca (simulação do fogo). 32
- Figura 3 - Instalação dos termopares na casca: um na região do câmbio e outro na superfície, em lados opostos do tronco, a sotavento e barlavento, para medições durante as queimadas. 33
- Figura 4 - Variação da temperatura no tempo, para a espécie *Enterolobium gumiferum*, com casca de 17 mm de espessura. 45
- Figura 5 - Variação das taxas de aumento de temperatura do câmbio (dT_c/dt) com a espessura da casca em todos os testes realizados: (a): escala normal. (b): escala logarítmica. 50
- Figura 6 - Variação das taxas de aumento de temperatura (dT/dt) com a espessura da casca nos testes feitos com 100°C. 51
- Figura 7 - Curvas de temperatura do cambio para três tipos de queimadas com 1,5 minutos de duração 52

- Figura 8 - Curvas de tempo para o câmbio alcançar 60°C durante três queimadas com 1,5 minutos de duração 53
- Figura 9 - Comparação da relação da temperatura do câmbio com a espessura da casca durante as queimadas, medidas neste trabalho com valores medidos em outros trabalhos. 57
- Figura 10 - Comparação dos resultados do modelo deste trabalho com valores observados na literatura, com relação ao tempo para o câmbio alcançar 60°C. 58
- Figura 11 - Dados de temperatura do câmbio e da superfície da casca observados para a espécie *Blepharocalyx salicifolius*, com casca de 1,6mm de espessura, durante queimada em Cerrado (s.s.) realizada no dia 19/08/92. 62
- Figura 12 - Dados de temperatura do câmbio e da superfície da casca observados para a espécie *Blepharocalix salicifolius*, com casca de 3mm de espessura, durante uma queimada em Cerrado (s.s.), no dia 19/08/92 63
- FIGURA 13 - Dados de temperatura da superfície da casca observados para as espécies *Byrsonima sp* (Byr) e *Stryphnodendron adstringens* (Bar), durante uma queimada em Campo Sujo, no dia 15/09/92 medidos em locais opostos do tronco. 64

- Figura 14 - Dados de temperatura do câmbio observados para as espécies *Byrsonima sp* (Byr) e *Stryphnodendron adstringens* (Bar), durante uma queimada em Campo Sujo, no dia 15/09/92 medidos em locais opostos do tronco. 65
- Figura 15 - Dados de temperatura da superfície da casca observados para a espécie *Palicourea rigida*, durante uma queimada em Cerrado denso, em 16/09/92, medidos em lados opostos do tronco, com espessuras de casca de 10,6mm (linha vermelha) e 11,3mm (linha verde). 66
- Figura 16 - Dados de temperatura do câmbio observados para a espécie *Palicourea rigida*, durante uma queimada em Cerrado denso, em 16/09/92, medidos em lados opostos do tronco, com espessuras de casca de 10,6mm (linha vermelha) e 11,3mm (linha verde). 67
- Figura 17 - Dados de temperatura da superfície da casca observados para a espécie *Eremanthus glomerulatus* durante uma queimada em Cerrado denso, em 16/09/92, medidos em lados opostos do tronco, com espessuras de casca de 4,5mm (linha vermelha) e 5,4mm (linha verde). 68

- Figura 18 - Dados de temperatura do câmbio observados para a espécie *Eremanthus glomerulatus* durante uma queimada em Cerrado denso, em 16/09/92, medidos em lados opostos do tronco, com espessuras de casca de 4,5mm (linha vermelha) e 5,4mm (linha verde). 69
- Figura 19 - Comparação dos valores de temperatura do câmbio, observados nas queimadas, com os valores calculados pelo modelo. 71
- Figura 20 - Diferenças, em percentual, das temperaturas do câmbio observadas nas queimadas e as calculadas pelo modelo 72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Relação dos indivíduos utilizados na simulação com diâmetro do tronco e espessura da casca medidos a 30 cm de altura.	28
Tabela 2 -	Taxas de aumento de temperatura (dT_c/dt) obtidas nos experimentos de simulação das queimadas, relacionados com a espessura da casca e temperatura aplicada.	40
Tabela 3 -	Temperaturas do câmbio medidas nas queimadas e calculadas com o modelo	70
Tabela 4 -	Teor de água das cascas de 10 espécies de leguminosas para as estações seca e chuvosa.	74
Tabela 5 -	Morfologia externa da casca das espécies estudadas	75

INTRODUÇÃO

Muitos ecossistemas acham-se sujeitos a queimadas periódicas, uma vez que suas condições ambientais permitem que haja um potencial de combustão, relacionado à redução da umidade do componente vegetal, principalmente no período seco. Os incêndios ocorrem, então, em ambientes úmidos o suficiente para produzir uma quantidade razoável de combustível e sazonalmente seco o suficiente para queimar com facilidade. Portanto, conforme afirma Guillon (1983), as queimadas são mais frequentes e melhores distribuídas em áreas tropicais sujeitas a alternância regular de períodos secos e chuvosos.

Apesar de ocorrerem desde tempos imemoriais (Pyne, 1982; 1991) e de já ter sido objeto de estudos em várias partes do mundo, as queimadas continuam a merecer a atenção dos pesquisadores.

Scott (1984) demonstrou que, numa primeira fase de estudos sobre o fogo, as pesquisas voltaram-se exclusivamente para o seu comportamento, com vistas ao seu controle e prevenção. Posteriormente as pesquisas voltaram-se para o manejo do ecossistema com o uso do fogo, após se concluir que era impossível a exclusão total do mesmo, pois o seu manejo ajuda a controlar a quantidade de combustível, diminuindo o risco de queimadas acidentais desastrosas. Tornou-se necessário, então, obter conhecimentos com vistas a elucidação do problema dos efeitos do fogo sobre os componentes do ambiente e é nesse contexto que se enquadram as pesquisas atuais (Scott, 1984, em Rosa, 1990).

Os estudos desses efeitos são dificultados pela complexidade do próprio fogo que pode apresentar características diversas. Isto faz com que os seus impactos

sejam também os mais diversos. Uma queimada difere de outra se as condições ambientes e de combustível variarem, de forma que cada incêndio apresenta um comportamento característico.

A produção de combustível depende de uma série de fatores ambientais, tais como o histórico de chuvas no local, das propriedades físicas e químicas do solo, da intensidade da herbivoria ou eventos como a formação de orvalho. Todos esses fatores interferem na taxa de produtividade primária e na produção e condições do combustível. Portanto a abordagem dos efeitos do fogo no ambiente é bastante complexa e deve ser feita de forma a considerar a maior quantidade de fatores possíveis, bem como as suas interações, para que se possam definir algumas conclusões e propor formas de manejo.

Um dos efeitos das queimadas mais amplamente difundido e discutido é o raleamento da vegetação, com a conseqüente formação de fitofisionomias savânicas, devido à diminuição no número de espécies e indivíduos por aumento da mortalidade e decréscimos do recrutamento. Foi demonstrado por Trapnell (1959), estudando as árvores de *Isobertinia* no Zimbábue e por Hopkins (1965), nas savanas nigerianas, que o fogo anual causa o raleamento da vegetação. Para o Cerrado Sambaichi (1991) atestou uma acentuada redução da camada lenhosa e Ramos (1990) constatou haver um maior recrutamento em áreas protegidas.

O fogo não deve ser sempre considerado como o fator limitante principal. San José & Fariñas (1983), estudando as savanas dos Lhanos venezuelanos, atestaram que a existência de savanas próximas a florestas, em áreas com igual precipitação pluviométrica, devem-se mais a condições extremas de solo, tais como acidêz, baixa troca catiônica e um horizonte ferroso próximo à superfície, do que à ação do fogo, como era considerado na literatura até então. Portanto, o fogo é apenas um dos fatores capazes de determinar as características fisionômicas da vegetação e pode se tornar um fator

limitante face as condições ambientais. O reconhecimento do fogo como fator ecológico de relevância na dinâmica do ecossistema foi tardio, pois até 1947 não havia sido reconhecido como tal (Daubenmire, 1959). Hoje ele é reconhecido como um entre vários fatores que afetam a dinâmica das savanas mas é um dos poucos que podem ser manipulados, o que faz com que seja uma variável importante em programas de manejo (Frost & Robertson, 1987).

As savanas tropicais, assim como as formações de "Grasslands", Chaparral e o "Kwougan" australiano, possuem muitas espécies de plantas cujo desenvolvimento está intimamente relacionado com o fogo e seus efeitos, justamente por apresentarem queimadas regulares, às quais estão adaptadas (Edwards, 1984, em Rosa, 1990). O fogo também tem sido constatado como um fator ambiental relevante em ecossistemas florestais (Hare, 1961).

Estudos desenvolvidos no Chaparral tem demonstrado uma grande dependência desse ecossistema com relação ao fogo, pois essa vegetação apresenta uma enorme capacidade de reestabelecer-se rapidamente após uma queimada (Biswell, 1974), que remove plantas decadentes e permite a rebrota de novas plântulas (Wright & Bailey, 1982). Áreas protegidas por 60 anos mostraram-se decadentes, com alta proporção de morte de lenhosas, pequeno crescimento anual e reduzida riqueza de espécies (Hanes, 1961, em Rosa, 1990).

Quanto aos "Grasslands", o fogo tem sido considerado uma força seletiva agindo sobre o desenvolvimento da maioria de suas espécies (Vogl, 1974). A vegetação do "Kwougan" australiano também demonstra vigorosas rebrotas de estoques de raízes após a passagem do fogo (Bell, *et al.* em Rosa, 1990).

A presença do fogo em ecossistemas florestais também tem sido constatada, sendo este um fator frequente em florestas temperadas dos Estados Unidos,

Canadá (Ahlgreen, 1974) e Austrália (Gill, 1968; Vines, 1968). Geralmente fogos repetidos são conhecidos por transformar as formações florestais em fisionomia mais baixa e aberta e, se forem seguidos de exploração madeireira, acabam transformando a área em formação graminosa (Ahlgreen, 1974).

Mesmo sendo um fator que sempre esteve relacionado a vegetações abertas, o fogo tem sido descrito como um distúrbio cada vez mais frequente na Floresta Tropical Amazônica, devido às alterações antrópicas que este bioma vem sofrendo, pois, conforme os estudos desenvolvidos nos últimos tempos, essa floresta não apresenta originalmente condições de inflamabilidade de combustível, sendo virtualmente impossível a ocorrência de incêndios florestais, mas a interferência humana tem modificado drasticamente esse cenário, criando um mosaico de florestas exploradas, campos de pastagens e florestas sucessionais secundárias. Com esses distúrbios o fogo passou a ser um fator ambiental importante nas florestas tropicais (Booth, 1989; Uhl *et al.*, 1988; Uhl *et al.*, 1990; Uhl & Kauffman, 1990).

Para o cerrado, Sambuichi (1991) observou que o fogo periódico bianual causa um raleamento da camada lenhosa e diminuição da diversidade de espécies, mas esse efeito observado poderia ser diferente se fossem estudados diferentes regimes de queima.

A associação das savanas tropicais com as queimadas se dá de tal forma que muitas pessoas consideram as savanas tropicais como "Fire Climaxes".

O regime de fogo depende da taxa de produção de combustível pelos componentes do estrato herbáceo, que podem ou não suportar uma queimada, sendo que o regime de chuvas exerce influência preponderante nessa produtividade e acúmulo de combustível. Trollope (1984) observou na África que a frequência de queimadas é maior em savanas úmidas do que em savanas áridas, de menor produtividade. Observou também

que a herbivoria pode interferir nessa quantidade de combustível disponível para a queimada, sendo que a palatabilidade de cada espécie exerce uma importante função nesse processo (Rosa, 1990).

O balanço entre a biomassa da camada rasteira e a da lenhosa tem função preponderante na letalidade do fogo no ambiente, pois a camada rasteira tem um poder de ignição maior do que a lenhosa e sente seus efeitos, tanto os diretos quanto os indiretos, de forma mais intensa. O fogo causa grandes flutuações de biomassa na camada rasteira e pequenas flutuações na camada lenhosa. Portanto, quanto mais abundante for a camada lenhosa menor será a probabilidade de ocorrer queimadas (Edwards, 1984).

O fogo apresenta efeitos variáveis sobre o ecossistema. Esses são atribuídos à intensidade do fogo, temperatura ambiente, tipo e abundância da vegetação, além de outros fatores (Forest Service, 1978). Assim é comum encontrar na literatura a descrição de efeitos diversos para queimadas em determinados ambientes, alguns até contraditórios, principalmente no que tange aos efeitos do fogo na biota.

Os efeitos abióticos mais importantes das queimadas são as modificações na ciclagem de nutrientes. Assim é reconhecido que o fogo destrói a matéria orgânica, antes desta fazer parte do acervo do solo, remove a camada protetora do solo, volatiliza nutrientes, principalmente o nitrogênio e transforma elementos insolúveis em solúveis, que serão mais facilmente absorvidos pela vegetação ou serão perdidos por carreamento (Forest Service, 1978) ou parte desses nutrientes é perdida para a atmosfera como gases ou partículas finas e o restante permanece na superfície. Há, portanto, um aumento na fertilidade do solo, que dura apenas algumas semanas e que é importante para o desenvolvimento de herbáceas subarborescentes (Batmanian, 1983; Coutinho, 1982).

Portanto, o fogo acelera a velocidade de ciclagem mineral, promovendo também a exportação de nutrientes para a atmosfera através da fumaça (Coutinho 1979).

O fogo pode atuar diretamente no indivíduo, destruindo tecidos ou afetando seu crescimento e reprodução ou atuar indiretamente, modificando o ambiente e criando novas oportunidades de colonização (Frost, 1984).

Os efeitos das queimadas sobre a biota, descritos na literatura referem-se principalmente ao estímulo ou não à reprodução, germinação, produtividade primária, diversidade e a morte ou exclusão de indivíduos ou espécies em determinadas áreas.

Estratégias de proteção ao fogo

Algumas espécies que vivem em ambientes propícios ao fogo apresentam algumas adaptações que permitem tal façanha. Embora essas vantagens potenciais sejam reconhecidamente relacionadas à proteção contra o fogo, isto não significa necessariamente que seja uma resposta evolutiva ao fator fogo especificamente (Frost, 1984).

Existem algumas iniciativas em classificar a vegetação de acordo com as suas estratégias para resistir ou tolerar um distúrbio como o fogo. Assim Kruger (1984) dividiu em duas categorias esses mecanismos, classificando as espécies como:

- espécies que não conseguem brotar e têm que regenerar da semente, incluindo as que têm as sementes trazidas de outros sítios e as que se originam do "pool" do próprio sítio, localizadas no solo ou na copa;
- espécies que regeneram de partes da planta que sobrevivem, envolvendo as partes aéreas e as subterrâneas.

Por sua vez Frost (1984) classificou os mecanismos que permitem a planta

sobreviver em ambientes propícios ao fogo nas seguintes categorias: o escape ao fogo no tempo, a evitação no espaço, a resistência ao fogo, a capacidade de recobrimento e a regeneração de sementes.

- escape no tempo: capacidade de algumas espécies de não se encontrarem em fases sensíveis de seu ciclos de vida no período de maior frequência de queimadas, pois a susceptibilidade ao fogo depende do estado fenológico em que a planta se encontra. Algumas plantas exibem dormência associada a alguma proteção dos meristemas. A dormência ou a morte da parte aérea permite que a planta rebrote sem ter que reinvadir a área.
- evitação no espaço: ocorrência de espécies sensíveis ou semi-tolerantes ao fogo em áreas que raramente ou nunca queimam, como áreas rochosas ou alagadiças.
- capacidade de recobrimento: tolerância ao fogo, que é caracterizado por um dano que não compromete a sobrevivência do indivíduo e envolve a rebrota de gemas do tronco e raiz, que deixam de ser inibidas pela gema apical quando esta morre.
- regeneração de sementes: relaciona-se a ervas e escrubos baixos que não sobrevivem ao fogo e não possuem capacidade de rebrota.
- resistência ao fogo: capacidade do indivíduo de sobreviver a este. Depende da intensidade do fogo e do grau de resistência e proteção de seus tecidos. Assim a capacidade de apresentar um crescimento rápido, se tornando resistente ao fogo, ou a forma da copa, que pode desviar o fluxo de calor, são características relacionadas com este mecanismo.

A capacidade das plantas em suportarem a exposição ao fogo depende da localização das partes sensíveis ao calor, natureza básica do protoplasma, capacidade de desenvolver plântulas e da proteção promovida por tecidos isolantes (Spalt & Reifsnyder, 1962). Um dos assuntos que chamam a atenção quando se considera a resistência ao fogo é a capacidade da casca de funcionar como isolante térmico (Davis, 1959; Hare, 1961; Spalt & Reifsnyder, 1961; Kayll, 1963; Martin, 1963; Hare, 1965; Wright & Bailey, 1982). A casca funciona, então, como um tecido protetor do tecido meristemático do câmbio, reponsável pelo crescimento secundário do vegetal, e dos tecidos condutores xilema e floema, das altas temperaturas promovidas pelas queimadas.

Para as árvores do Cerrado muitas descrições fazem alusão a "casca espessa" e com grande formação de cortiça. No início do século, Warming (1908) já fazia observações a esse respeito. Tornou-se comum considerar, empiricamente, que essa característica é uma adaptação ao fogo, apesar de no Cerrado (*sensu latu*) existirem vários tipos de casca, que vão desde a casca fina a espessa e da lisa a fendilhada, passando por todas as suas formas intermediárias (Pereira *et al.*, 1993).

Estudos sobre cascas de árvores são fundamentais, quando se deseja fazer previsões a respeito do impacto do fogo sobre a vegetação (Spalt & Reifsnyder, 1962; Davis, 1959).

Geralmente todo tecido localizado externamente ao câmbio vascular é considerado casca (Esau, 1977; Trockenbrodt, 1990; Chang, 1954; Whitmore, 1962). A casca é formada por cortiça de células mortas e impermeáveis, (o ritidoma ou felema) e elementos vivos; o felogênio (câmbio da periderme), a feloderme, de células parenquimáticas e o floema secundário (Esau, 1977). A casca possui ainda fibras axiais, parênquima radial (formador dos raios), e células parenquimáticas axiais em toda a extensão viva. Desses tecidos, as fibras e as células parenquimáticas apresentam car-

acterísticas de armazenar cristais, cuja quantidade varia de espécie para espécie, o que tem grande influência na densidade da casca. Também são abundantes na casca os esclereídeos, que são células lignificadas e que, dependendo da sua quantidade, podem conferir à casca um aspecto arenoso.

O câmbio é caracterizado como um tecido meristemático secundário, responsável pelo crescimento em diâmetro e apresenta-se como uma camada fina, de poucas camadas de células (Esau, 1977), sendo, portanto, um tecido de grande importância para o vegetal e de certa fragilidade.

Resistência das árvores ao fogo

A resistência das árvores ao fogo vem assumindo uma certa importância a medida que se lança mão do uso do fogo como instrumento de manejo, tendo em vista que essas queimas controladas visam a diminuição e controle da quantidade de combustível sem causar morte e degradação do ambiente. O conhecimento dos limites de tolerância dos vegetais às altas temperaturas permite, então, um maior controle e previsão dos danos, tanto em queimas controladas quanto em queimas acidentais (Vines, 1968).

Além disso, na determinação da resistência ou não ao fogo ou na definição dos limites de tolerância das plantas, observam-se grandes variações nas respostas a simples incêndios, que não dependem apenas da intensidade da queimada, pois esta é uma medida física, não possuindo uma relação biológica para diferentes ambientes (Gill, 1981). Assim, incêndios de mesma intensidade podem apresentar efeitos diversos, em termos de morte de indivíduos, se houver diferenças na altura da vegetação, na concentração, tipo e distribuição de combustível, etc. Neste caso a utilização de uma

definição biológica de intensidade do fogo, tais como o percentual de copa queimada ou o percentual de quadrantes do tronco com câmbio danificado, podem auxiliar na visualização dos efeitos do fogo sobre a vegetação (Frost & Robertson, 1978; Trollope, 1982). As temperaturas alcançadas nas queimadas e sua duração podem apresentar resultados similares para incêndios de intensidades diferentes (Wright & Bailey, 1982).

A morte de partes da copa das árvores, ou de sua totalidade, causando perda de gemas, juntamente com os danos no câmbio têm sido apontados como os principais fatores na determinação da mortalidade das árvores após o fogo (Ryan *et al.*, 1988; Byram, 1958; Wyant *et al.*, 1986; Van Wagner, 1970 em Ahlgreen, 1974). Apesar de ser observado que são necessárias temperaturas mais baixas para danificar a copa do que para danificar o câmbio (Ahlgreen, 1974), os danos no câmbio têm sido considerados por promoverem melhores previsões a respeito da mortalidade do indivíduo, porque apenas a queima da copa não assegura que as partes estratégicas alcancem a temperatura letal (Byram, 1958).

Os danos causados pelas altas temperaturas no tronco podem ser divididos em três categorias (Tunstall *et al.*, 1976; Gill, 1981):

- temperaturas subletais em torno do tronco, causando perda de riti-doma, descoloração e chamuscamento;
- temperaturas letais em um lado do tronco (no disco), causando sua morte e cicatrização;
- temperaturas letais, causando anelamento e morte da parte aérea.

Os danos do fogo no tronco alcançam esse grau de diversificação devido a

sua descontinuidade ao longo e ao redor do mesmo, pois têm sido descritas algumas características heterogêneas de distribuição da temperatura no tronco durante a passagem do fogo, tais como a observação de temperaturas dentro das fissuras mais baixas do que nas cristas dos dentes (Fahnestock & Hare, 1964, em Wright & Bailey, 1982; Fahnestock *et al.*, 1961, em Hare, 1961) e a constatação de temperaturas na superfície da casca mais altas a sotavento do que a barlavento, podendo ainda haver variações na altura considerada (Wright & Bailey, 1982; Wyant *et al.*, 1986).

A morte do câmbio, como de qualquer tecido vegetal, depende primeiramente de seu teor de água e é uma função exponencial entre a temperatura e o tempo de exposição, já que a temperatura só será letal se for mantida por um tempo apropriado (Wright & Bailey, 1982; Martin, 1963). É bastante difundida e aceita a idéia de que a exposição a 60 °C por um minuto é suficiente para causar a morte dos tecidos vegetais. Wright & Bailey (1982) discordam dessa aproximação, tendo em vista que, baseados nos dados de Wright (1970), o tempo requerido para causar morte de tecidos a 60 °C pode variar de 2 a 60 minutos, dependendo do teor de água desse tecido, se este variar de 28 a 166%. Apesar disso utiliza-se, de uma forma geral, o valor de 60 °C como a temperatura capaz de causar a morte de células e tecidos por um tempo de 1 a 2 minutos (Byram, 1958; Hare, 1961; Kayll, 1963; Uhl & Kauffman, 1990).

Apesar de ser um aspecto negligenciado em muitas pesquisas, a temperatura a que chega o câmbio durante a passagem do fogo também é bastante influenciada pela sua temperatura inicial, o que faz com que a resistência da planta ao fogo receba grande influência desse fator, sendo tanto mais alta a resistência alta quanto mais baixa essa temperatura inicial (Hare, 1961; Hare, 1965). Essa influência é tão grande que é um dos motivos pelos quais os danos dos incêndios de verão são maiores do que no inverno (Hare, 1961; Byram, 1958).

Fogo no Cerrado

O bioma Cerrado é uma formação vegetal complexa, que ocupa a região central do Brasil e algumas porções de biomas adjacentes, cobrindo uma área de cerca de 1.800.000 km² (Coutinho, 1982). A precipitação anual da região do Cerrado varia de 800 a 2000 mm/ano, com distribuição extremamente sazonal (Goedert, 1982).

A flora do Cerrado apresenta dois grupos de espécies, um de árvores e arbustos persistentes, de caule grosso, que compõem o estrato lenhoso e outro, composto de espécies da camada rasteira de ervas, arbustos e semi-arbustos anões de caule fino (Eiten, 1984). Esses dois grupos apresentam uma divisão espacial de utilização dos recursos hídricos e nutrientes, onde o primeiro grupo apresenta raízes profundas, além das superficiais, e o segundo apenas raízes superficiais, utilizando recursos apenas dessa camada e, por isso, morrem até o chão em condições de estresse hídrico (Goldstein & Sarmiento, 1987; Eiten, 1990).

O cerrado *sensu lato* (s.l.) é uma formação vegetal composta por tipos fisionômicos classificados de acordo com a densidade e altura dos elementos da camada lenhosa (Goodland, 1971; Goodland & Ferri, 1979; Eiten, 1979), representados por Campo Limpo de Cerrado (formação graminosa), Cerradão (floresta escleromórfica) e formas savânicas intermediárias, Campo Cerrado e Cerrado *strictu sensu* (s.s.). Essas formações intermediárias são consideradas ecótonos entre Campo Limpo e Cerradão, tendo em vista que algumas espécies são comuns a estes dois ambientes. A área coberta por Cerrado (s.l.) é, então, um mosaico composto por essas diferentes fisionomias (Coutinho, 1982).

Os fatores limitantes responsáveis pela ocorrência, distribuição e padrão

em mosaico dos Cerrados são, segundo Coutinho (1982), a oligotrofia, a toxidez de magnésio e alumínio, o solo laterítico e o fogo. Já Eiten (1990) cita, além desses fatores, a profundidade do solo e o grau de saturação da camada superficial e subsuperficial do solo, como responsáveis pelo gradiente de formas fisionômicas.

O fogo tem sido demonstrado como um dos importantes fatores ambientais do Cerrado (s.l.), principalmente devido ao surgimento de condições favoráveis a ocorrência deste durante o período seco, o que faz com que as diversas fitofisionomias que compõem o Cerrado estejam sujeitas a um fator comum, mas em graus diferentes (Coutinho, 1979).

As primeiras pesquisas a respeito da ação do fogo como um dos fatores determinantes do cerrado eram relativas ao estudo das estruturas adaptativas das plantas, de supostos hábitos pirofíticos, às queimadas mas foi a partir dos trabalhos de Coutinho em 1976 que as pesquisas sobre o papel do fogo no Cerrado passaram a ter um aspecto ecológico, com o estudo dos efeitos bióticos e abióticos do fogo (Ramos, 1990).

Desde antes da colonização portuguesa no Brasil o fogo já era utilizado por populações indígenas para muitas proposições, pois em várias descrições de seus hábitos menciona-se a prática comum de queimar a vegetação para propósitos de caça e guerra (Coutinho, 1990). Descobertas de fragmentos de carvão em um Cerrado perto de Brasília (DF), por Berger & Libby (1966) e em Pirassununga (SP), por Coutinho (1981), com idades de 1600 a 8600 anos, respectivamente, datados pelo método do Carbono 14, comprovam que o fogo, de origem natural ou causado pelo homem, está presente no Brasil Central bem antes da chegada dos colonizadores portugueses.

Por apresentar características de fisionomia aberta e ocorrer em áreas planas ou de ondulações suaves, os Cerrados têm sido utilizados para a criação de gado e expansão da fronteira agrícola. O homem tem utilizado o fogo como instrumento de

manejo dos pastos, preparo para o plantio e controle de pragas, doenças e plantas daninhas (Ramos & Rosa, 1992).

A variação da temperatura ambiente durante as queimadas no Cerrado apresenta dois aspectos: na superfície do solo são observadas altas temperaturas, que dependem de vários fatores, tais como a fisionomia, o regime de queima e o número de dias sem chuvas que antecederam a queimada, esses fatores estão relacionados com a quantidade e teor de umidade do combustível. Miranda *et al.* (1993) observaram uma variação na temperatura do ar durante a passagem do fogo de 85 °C a 840 °C, a diferentes alturas e para diferentes formas fisionômicas, sendo a temperatura mais alta medida a 60 cm. Cesar (1980) mediu temperaturas de 800 °C nas chamas em um Campo Sujo e observou que quanto maior for a temperatura do ar e mais seco o ambiente, mais rápida será a queimada.

Um outro aspecto é a variação da temperatura do solo, que pode ser negligenciada já que apresenta pouca amplitude de variação e lenta penetração (Coutinho, 1978). O aquecimento do solo é função de fatores como fitomassa combustível, umidade dessa fitomassa e umidade do solo (Coutinho, 1990). Miranda *et al.* (1993) observaram valores baixos de variação, constatando aumento máximo de 3 °C, a 5 cm de profundidade e de 9 °C a 2 cm, com o pulso de calor ocorrendo de 5 a 15 minutos após a passagem do fogo. Portanto, não são observadas temperaturas letais para tecidos vegetais no solo, mas somente na superfície. Medições da temperatura do solo durante as queimadas observadas por Coutinho (1978) constataram os valores máximos de 74 °C, 47 °C, 33 °C e 25 °C na superfície e a 1, 2 e 5 cm de profundidade, respectivamente.

Para se discutir os efeitos do fogo na vegetação do Cerrado, convém dividi-la nos dois grupos citados anteriormente, o de ervas e subarbustos e o de lenhosas arbóreas. Com referência ao aspecto reprodutivo, algumas pesquisas demonstram que um

grande número de espécies dependem do fogo para florescer (César, 1980). Além disso, o fogo promove a deiscência de frutos e dispersão de sementes de algumas espécies herbáceas e subarborescentes (Ramos & Rosa, 1992). A exposição a altas temperaturas também pode favorecer a germinação das sementes de algumas espécies (Coutinho, 1982).

Quanto aos efeitos na produtividade primária, os estudos referentes ao estrato herbáceo subarborescente demonstram que estes variam de acordo com a época em que ocorre a queimada (Ramos & Rosa, 1992). Através da ação do fogo a matéria orgânica é mineralizada mais rapidamente, acelerando a ciclagem de nutrientes, que são depositados na superfície do solo como cinzas, sendo o restante perdido para a atmosfera como gases (N, S, P) ou finas partículas (Ca, K, Mg). Parte do que foi perdido para a atmosfera retorna ao solo por gravidade ou através da água da chuva (Coutinho, 1979).

Calvalcante (1978, em Ramos, 1990) demonstrou haver aumento da concentração de nutrientes e diminuição do teor de alumínio na camada superficial do solo durante 3 meses após o fogo, o que é benéfico para as plantas. Portanto, o fato de o fogo acelerar a ciclagem mineral o transforma em um importante fator de incremento da produtividade primária do Cerrado (Coutinho 1990).

O fogo também parece atuar na produtividade primária. Meirelles (1981) observou que a produtividade primária líquida do estrato rasteiro foi maior em uma área queimada do que em área não queimada. Batmanian (1983), comparando a produção primária e acumulação de nutrientes no estrato rasteiro entre uma área queimada e outra não, de um Cerrado (s. s.), constatou uma maior produção de biomassa na área queimada.

O fogo pode atuar no estímulo à floração. Coutinho (1978) observou que há algumas espécies do estrato rasteiro do Cerrado que têm a capacidade de florescer

pouco tempo após o fogo. Cesar (1980), em um estudo sobre o efeito da queima e corte em um Campo Sujo de Cerrado, observou que o fogo proporcionou uma resposta fenológica idêntica ao corte. Portanto o fogo favoreceu o brotamento e floração das espécies pelo seu efeito de poda.

Quanto à influência do fogo na variação da diversidade e densidade de espécies, os trabalhos desenvolvidos por Sambuichi (1991) demonstram haver uma diminuição da riqueza e densidade na camada de arbustos e árvores, o que corrobora os resultados de Ramos (1990), que encontrou uma diminuição da área basal e densidade em áreas queimadas, quando comparadas com áreas não queimadas. Entretanto esses resultados deveriam ter sido relacionados a intensidade do fogo e a outros fatores ambientais, que podem ter alguma influência nos resultados alcançados no estudo.

No que se refere ao estrato herbáceo subarbustivo, Rosa (1990) observou que há uma intensa recuperação, em termos de biomassa, após um incêndio e que não há decadência na riqueza de espécies com a exclusão do fogo.

A mortalidade de plantas estabelecidas devido ao fogo é fenômeno raro no Cerrado e a morte da parte aérea está mais relacionada ao estrato herbáceo subarbustivo (Ramos, 1990; Ramos & Rosa, 1992), que, segundo Coutinho (1990), é tipicamente pirofítico. O que faz com que as flutuações na biomassa em decorrência do fogo se dêem principalmente nessa camada. A variação da biomassa no estrato arbóreo está mais associada à perda de folhas.

As queimadas parecem causar um aumento do número de rebrotas por indivíduo (Ramos, 1990). Os indivíduos jovens das espécies lenhosas também estão sujeitos ao dano aéreo, justamente por encontrarem-se no estrato herbáceo. Os efeitos do fogo são, segundo Ramos (1990):

- diminuição do recrutamento de árvores;
- diminuição da densidade arbórea;
- estratificação do componente lenhoso;
- entouceiramento;
- formação de fisionomias mais abertas.

Os danos causados às árvores estão relacionados a queimadas muito intensas ou de longa duração, em áreas onde há grande acúmulo de combustíveis. Esses danos referem-se a perda da copa e de gemas e danos no câmbio, causados por altas temperaturas nesses tecidos, portanto os tecidos mais sensíveis a altas temperaturas são os meristemas, que regulam o crescimento e reprodução vegetal.

Os efeitos deletérios das altas temperaturas nos sistemas vivos, referem-se, segundo Hare (1961), a :

- coagulação de proteínas termorresistentes;
- desnaturação de enzimas;
- liberação de lipídios emulsificados, causando coagulação do protoplasma;
- intoxicação;
- asfixia.

Embora a maioria das espécies do estrato herbáceo subarbustivo apresentem capacidade de rebrota, a partir das gemas subterrâneas, a resistência da parte aérea ao fogo é importante, tendo em vista que sua morte abre o ambiente para invasão e competição com outras espécies (Gill, 1981).

Mesmo sendo importante para se determinar a sobrevivência da parte aérea e, conseqüentemente, a susceptibilidade ao fogo de diferentes espécies, a determinação da temperatura do câmbio durante as queimadas e o estudo da capacidade de

resistencia térmica das cascas ainda não foram estudados em espécies do Cerrado.

Este trabalho tem como objetivo a definição dos efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado, através da determinação do percentual de indivíduos que são afetados por diferentes queimadas, definido a partir de modelagem matemática para a determinação da temperatura do câmbio, que permitirá que se defina a espessura abaixo da qual o fogo pode causar danos no câmbio, para a comunidade e para cada espécie de plantas lenhosas.

Para isso, pretende-se desenvolver uma metodologia para a determinação da taxa de aumento de temperatura do câmbio em indivíduos vivos no campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido na Reserva Ecológica do IBGE, denominada RECOR, que possui uma superfície de 1300 ha, estando situada a 35 km ao sul de Brasília, sob as coordenadas geográficas 15° 56' 41" e 47° 53' 07" W Grw. Seus limites são: a Reserva Ecológica do Jardim Botânico de Brasília (nordeste), um terreno da Fundação Cristo Redentor (noroeste), a Fazenda Água Limpa da UnB (sudoeste) e a rodovia DF-001 (sudeste).

A RECOR tem sido mantida protegida de queimadas e invasão por cerca de 20 anos, pois na década de 1960 foi desapropriada pela União e doada ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE e em 1978 foi reconhecida, pela presidência do órgão, como Área de Preservação Permanente de Interesse Científico.

Sua rede hidrográfica é formada por cinco cursos d'água que nela têm nascente, pertencente a Bacia Hidrográfica do Rio da Prata. O relevo é suave, típico das chapadas, com desníveis apenas nos vãos da rede de drenagem (Pereira *et al.*, 1989)

A Reserva encontra-se na região das chapadas, na divisão denominada Chapada de Brasília (Pinto, 1985), com terrenos constituídos por sedimentos dendrítico-lateríticos e pequenas porções de ocorrência de quartzitos e xistos, além de estreitas faixas de terrenos aluviais. Quanto aos tipos de solos, cerca de 70% da RECOR constitui-se de latossolo vermelho-escuro e latossolo vermelho-amarelo. Cambissolo e solo hidromórfico também ocorrem na área (Embrapa, 1987). As características comuns desses solos são a baixa fertilidade, altos teores de alumínio trocável, provocando elevada toxidez e reduzida taxa de matéria orgânica (Embrapa, 1980).

A vegetação da RECOR é composta por Campos, Cerradões, Brejos e Mata de Galerias, além de Cerrado *strictu sensu* (s.s.), que se distribuem da seguinte forma: 467 ha de Campos, 657 ha de Cerrado s.s., 15 ha de Cerradão e 104 ha de Mata Ciliar (Pereira *et al.*, 1989).

O clima local é tipicamente sazonal, com duas estações bem definidas, uma chuvosa e quente, que começa em setembro ou outubro e se prolonga até abril ou maio. A estação seca compreende os meses de junho, julho e agosto e boa parte de maio e setembro (Pereira *et al.*, 1989).

A precipitação média anual é de 1667 mm, com temperaturas médias de 26,3 °C (máximas) e 15,8 °C (mínimas). A umidade relativa pode variar de 80% na estação chuvosa a valores inferiores a 20% em agosto e setembro (Pereira *et al.*, 1989).

Os ventos apresentam velocidades médias de cerca de 2,1 m/s. Para os meses de seca, a direção predominante do vento é leste e, para os meses de chuva, leste nordeste e noroeste.

Na RECOR está sendo desenvolvido o projeto Impacto do Fogo no Bioma Cerrado, o qual tem por objetivo investigar os efeitos do fogo na fauna e flora do Cerrado. Para tanto, queimadas controladas são realizadas em áreas de Campo Sujo, Cerrado (s. s.) e Cerrado Denso, levando em consideração diferentes regimes de queima (anual, bienal e quadrienal) e épocas de queimada: precoce (junho), modal (agosto) e tardia (setembro).

O presente trabalho está inserido nesse projeto e foi realizado no período compreendido entre março e setembro de 1992.

Espécies estudadas

Para a realização deste trabalho foram selecionadas 19 espécies, sendo 10 pertencentes a família Leguminosae, quais sejam:

- | | |
|--|------------------------|
| - <i>Acosmium dasycarpum</i> (Vog.) Yakov | - chapadinha |
| - <i>Bowdichia virgilioides</i> H.B.K | - sucupira |
| - <i>Dalbergia miscolobium</i> (Vog.) Malme | - jacarandá do cerrado |
| - <i>Dimorphandra mollis</i> Benth | - faveiro |
| - <i>Enterolobium gumiferum</i> (Mart.) Macbr | - jatobá |
| - <i>Machaerium opacum</i> Vog | - jacarandá-muchiba |
| - <i>Pterodon pubescens</i> Benth | - sucupira branca |
| - <i>Sclerolobium paniculatum</i> var. <i>subvelutinum</i> | - carvoeiro |
| - <i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Corville | - barbatimão |

Essas espécies citadas foram selecionadas por possuir o maior número de indivíduos de porte arbóreo do Cerrado (Kirkbride Jr., 1984) e uma grande variabilidade estrutural da casca (Teixeira *et al.*, 1978). Portanto, a escolha foi feita de forma a selecionar uma ampla variedade de tipos morfológicos de casca, abrangendo cascas lisas, fissuradas, finas e espessas. Além disso, as leguminosas apresentam ampla distribuição e dominância nos bioma sul americanos, assim como são as meliáceas e esterculiáceas na África e as dipterocarpaceas na Ásia (Freezaillah, 1984).

O critério para a escolha das nove espécies restantes baseou-se nas conclusões de Sambuichi (1991), que relacionou uma série de espécies sensíveis ou

resistentes ao fogo, baseada em sua ocorrência ou não em áreas queimadas e não-queimadas. Assim, essa autora definiu como espécies "sensíveis ao fogo" aquelas que apresentaram redução nos valores de frequência, absolutos ou em percentual e "resistentes ao fogo" aquelas que apresentaram aumento nesses valores, quando se compararam as ocorrências em uma área não queimada e outra queimada. As espécies são:

Resistentes: -*Byrsonima verbascifolia* (Spr.) Kunth. (murici)

-*Piptocarpha rotundifolia* (Less.) Baker (coração-de-negro)

Sensíveis: -*Roupala montana* Aubl. (carne-de-vaca)

-*Rapanea guianensis* Aubl. (cafezinho-do-cerrado)

-*Styrax ferrugineus* Nees & Mart. (laranjinha-do-cerrado)

-*Miconia ferruginata* (D.C.) Cogn.

Além dessas, *Blepharocalix salicifolius* (Camb.) Burr (Maria-preta) foi escolhida por apresentar casca relativamente fina, quando comparada a outras espécies, *Eremanthus glomerulatus* Less (coração-de-negro) por apresentar tronco longo e fino com casca espessa e *Didymopanax macrocarpum* (C. & S.) Seem (mandiocão-do-cerrado) por apresentar tronco longo e fino com casca mais fina.

Levantamento da espessura das cascas das espécies de um Cerrado denso

Neste trabalho foram utilizados os dados do levantamento de espessura da casca na comunidade vegetal de lenhosas, realizado por Pereira *et al.* (1993), durante a estação seca do ano de 1991. Esse levantamento considerou apenas os indivíduos com diâmetro superior a 5 cm a uma altura de 30 cm do chão e foi realizado na área de

Cerrado denso, onde se desenvolve o projeto do impacto do fogo sobre a biota. Ao todo, foram medidas as espessuras da casca de 2637 indivíduos, utilizando-se, para isto, um instrumento de metal pontiagudo, graduado, que era introduzido na casca das árvores até que se alcançasse a região do câmbio (até atingir a madeira). Os indivíduos utilizados neste levantamento são os mesmos que foram utilizados para o levantamento fitossociológico da área do projeto fogo, executado pela equipe da RECOR.

Resistência térmica da casca

Para se predizer a temperatura a qual os tecidos vivos estão sujeitos quando lhes é fornecido um pulso de calor, é necessário se considerar as propriedades termofísicas de seus tecidos protetores. Portanto, essas propriedades da casca determinam a transferência de calor para o câmbio. Nessa abordagem são consideradas as propriedades referentes a condutividade, difusividade e capacidade térmica (Martin, 1963; Reifsnyder *et al.*, 1967).

A condutividade térmica (K em $\text{cal s}^{-1}\text{C}^{-1}$) é a capacidade de um material de transmitir calor, que irá fluir através de uma unidade de área em uma unidade de tempo, sob condições constantes quando guiado por um gradiente de temperatura.

O calor específico (cp) refere-se a quantidade de calor requerida para aumentar uma unidade de massa de uma substância em um grau, sem mudar o seu estado. Quando se multiplica o calor específico pela densidade do material (ρ), obtém-se a capacidade térmica volumétrica (ρcp).

A difusividade térmica (k em cm s^{-1}) é o quociente entre a condutividade

térmica e a capacidade térmica volumétrica. Indica a taxa em que a temperatura muda quando sua temperatura inicial também muda.

Essas propriedades são afetadas principalmente pela densidade, pelo teor de água e pela temperatura (Martin, 1963). A densidade, por sua vez, depende da proporção entre casca interna e ritidoma, que também influencia o teor de água, já que há grande diferença no percentual de água das cascas interna e ritidoma (Reifsnnyder *et al.*, 1967).

De acordo com Vines (1968), o principal parâmetro para a determinação da resistência térmica da casca é a difusividade térmica, que é dada pela fórmula:

$$k = K / (\rho \text{ cp}) \quad (1)$$

Assim tem-se que uma alta difusividade (alta condutividade e baixa capacidade térmica volumétrica) implica em uma transmissão de calor através do material mais rápida do que um material de baixa difusividade. Mas essa difusividade não depende apenas da condutividade, visto que ela mantém uma relação inversa com a densidade e o calor específico.

A casca seca é um bom isolante, porque o ar é mau condutor térmico mas, devido ao seu baixo teor de água, sua capacidade térmica é baixa, o que pode aumentar a difusão de calor e diminuir a resistência térmica. Em contrapartida uma casca úmida é bom condutor mas apresenta uma alta capacidade térmica. Em resposta a esses fenômenos há uma baixa amplitude de variação da difusividade térmica.

Para a determinação da resistência térmica da casca foram utilizadas duas metodologias. A primeira constou de uma simulação do fogo, utilizando-se, para isso, uma fonte térmica para aquecimento localizado e pontual da casca.

A segunda fase constou da coleta de temperaturas da superfície da casca e

do câmbio durante os incêndios controlados realizados na RECOR.

Simulação

Vários métodos têm sido utilizados para a aplicação controlada de calor nas plantas. Esses envolvem a imersão da planta em água quente, utilização de fornos, aquecedores elétricos radiantes, tocha de propano, fluxo de ar quente, queima de um barbante embebido em querosene, entre outros (Hare, 1961). Para o presente trabalho foi utilizado uma fonte térmica composta de uma resistência elétrica (níquel-cromo) instalada em um suporte de porcelana, fixado a uma base de alumínio e ferro. A potência foi regulada por um Variac. Este método permitiu a obtenção de temperaturas controladas pelo tempo desejado, mantendo-se pequenas variações devido a fatores externos, como o vento, por exemplo.

As temperaturas da casca e do câmbio foram medidas com termopares tipo k (cromel-alumel) com 30 μ g, que foram instalados no tronco, a uma altura que variou de 30 a 60 cm, já que nesta altura foram observadas as temperaturas mais altas das queimadas (Miranda *et al.*, 1993). Os termopares foram instalados na superfície da casca e na região do câmbio, entre a casca e a madeira. Para sua instalação foi retirada uma amostra de casca de 4 cm^2 e, através de um canal feito com alfinete, o termopar foi introduzido, abaixo da casca não danificada, simetricamente ao termopar externo. Após a instalação do termopar, a amostra de casca retirada foi posta no local, conforme metodologia utilizada por Uhl & Kauffman (1991). Em indivíduos grandes a abertura foi feita com formão e nos pequenos com uma lâmina estilete.

Após a instalação dos sensores era aplicado um pulso de calor até atingir uma temperatura quase constante, que, dependendo da espessura da casca, foi de 100,

200, 300 ou 400 °C. Esta temperatura era mantida constante até que a temperatura do câmbio alcançasse 60 °C, considerada na literatura como temperatura letal para o câmbio (Hare, 1961; Martin, 1963; Uhl & Kauffman, 1991).

Este procedimento foi realizado em três indivíduos, de idades diferentes, de cada espécie, resultando em 56 testes, onde 21 foram feitos com 100 °C, 13 com 200 °C, 12 com 300 °C e 10 com 400 °C.

As temperaturas da casca e do câmbio foram registradas em um registrador gráfico (ECB). Isto permitiu o acompanhamento de todo o processo através da sua visualização gráfica, em termos de variação da temperatura no tempo. Assim foi possível determinar, também, o tempo em que a temperatura do câmbio permaneceu acima de 60 °C, que é um parâmetro importante para a definição dos efeitos deletérios das altas temperaturas (Kayll, 1963).

Este método apresenta vantagens em relação ao utilizado por Uhl & Kauffman (1990), pois apresenta a conveniência de se trabalhar com indivíduos vivos no campo e, principalmente, permite que se controle a temperatura na superfície da casca, o que não é possível quando se utiliza a queima de um barbante embebido em querosene na superfície da casca.

Na Tabela 1 estão relacionados todos os indivíduos utilizados nos testes de simulação das queimadas, onde estão apresentados o diâmetro e a espessura da casca de cada um

Nas Figuras 1, 2 e 3 está apresentada a forma como foram instalados os termopares para medição de temperatura do câmbio.

Modelo matemático para determinar a temperatura do câmbio durante as queimadas

O modelo descrito abaixo foi elaborado buscando-se uma forma simples que nos permitiu avaliar como a passagem do fogo pode modificar a temperatura do câmbio em árvores com diferentes espessuras de casca. Basicamente, foram assumidas cinco hipóteses na elaboração desse modelo:

i) Para uma mudança instantânea na temperatura do ar, digamos de T_i para T_f , a taxa de variação da temperatura do câmbio (T_c) em relação ao tempo (dT_c/dt) é proporcional à diferença de temperatura ($T_c - T_f$), isto é:

$$\left(\frac{dT_c}{dt}\right) = -\frac{1}{\tau}(T_c - T_f) \quad (2)$$

onde τ é uma constante, conhecida em termometria como Constante de Tempo ou Tempo de Resposta de um termômetro (Fritschen & Gay, 1979).

Tabela 1- Relação dos indivíduos utilizados na simulação, com diâmetro do tronco e espessura da casca medidos a 30cm de altura

Espécie	Diâmetro do Tronco(cm)	Espessura da casca(mm)
<i>Scerolobium paniculatum</i>	2,8	6
<i>Scerolobium paniculatum</i>	10,8	10
<i>Scerolobium paniculatum</i>	28,1	3
<i>Bowdichia virgilioides</i>	1,1	3
<i>Bowdichia virgilioides</i>	8,7	10
<i>Bowdichia virgilioides</i>	22,6	27
<i>Machaerium opacum</i>	1,3	3
<i>Machaerium opacum</i>	8,7	20
<i>Machaerium opacum</i>	13,7	41
<i>Stripnodendron adstringens</i>	1,7	5
<i>Stripnodendron adstringens</i>	5,5	14
<i>Stripnodendron adstringens</i>	17,5	22
<i>Dalbergia miscolobium</i>	2,1	6
<i>Dalbergia miscolobium</i>	8,6	16
<i>Dalbergia miscolobium</i>	16,0	24
<i>Dimorphandra mollis</i>	2,1	5
<i>Dimorphandra mollis</i>	7,8	20
<i>Dimorphandra mollis</i>	—	14
<i>Pterodon pubescens</i>	3,4	7
<i>Pterodon pubescens</i>	11,6	13
<i>Pterodon pubescens</i>	23,7	16
<i>Enterolobium gumiferum</i>	0,8	3
<i>Enterolobium</i>	7,5	17
<i>Enterolobium</i>	15,2	31
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	1,6	5
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	8,8	8
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	13,1	9
<i>Acosmium dasycarpum</i>	2,7	10
<i>Acosmium dasycarpum</i>	6,1	25
<i>Acosmium dasycarpum</i>	14,0	27
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	1,3	4
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	5,3	15
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	9,9	22
<i>Miconia ferruginata</i>	1,1	3
<i>Miconia ferruginata</i>	5,1	21
<i>Miconia ferruginata</i>	10,0	30
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	1,1	3
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	4,1	20
<i>Roupala montana</i>	2,0	4
<i>Roupala montana</i>	12,3	18
<i>Styrax ferruginea</i>	4,5	13
<i>Styrax ferruginea</i>	7,5	17
<i>Styrax ferruginea</i>	14,9	18
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	3,7	13



Figura 1 - Instalação de equipamentos para medição da temperatura do câmbio e superfície da casca durante as queimadas.



Figura 2 - Instalação de termopares para medição de altas temperaturas na superfície da casca (simulação do fogo)



Figura 3 - Instalação dos termopares na casca: um na região do câmbio e outro na superfície, em lados opostos do tronco, a sotavento e barlavento, para medições durante as queimadas.

ii) A temperatura do câmbio responde rapidamente, ou lentamente, às mudanças de temperatura, do ar na superfície da casca dependendo apenas da espessura da casca (x), de tal forma que o tempo de resposta do câmbio é função da espessura da casca, do tipo:

$$\tau = \frac{x^a}{b} \quad (3)$$

iii) Durante a passagem do fogo, a variação da temperatura do ar próximo à superfície da casca pode ser considerada como sendo um pulso triangular. A altura desse triângulo é igual a diferença entre a temperatura máxima (T_{max}) e a temperatura inicial do ar (T_i). A base do triângulo é determinada pela duração (dt) da passagem do fogo. Assim, a área do pulso triangular (A_t) pode ser expressa como sendo:

$$A_t = \frac{(T_{max} - T_i)}{2} \cdot dt \quad (4)$$

iv) O mesmo efeito na temperatura do câmbio pode ser provocado por um pulso retangular, mas de mesma duração (dt) e área (A_r) equivalente à do pulso ("verdadeiro") triangular. Assim, a variação da temperatura do ar pode ser considerada como sendo equivalente a uma mudança instantânea na temperatura do ar (como foi imposta pela hipótese i), passando abruptamente de um valor inicial (T_i) para um valor constante (T_f), e retornando abruptamente ao valor inicial, após um intervalo de tempo (dt) igual à duração da passagem do fogo. Dessa forma:

$$A_r = A_t$$

e T_f pode ser determinada como:

$$T_f = \frac{T_{\max} + T_i}{2} \quad (5)$$

v) Antes da passagem do fogo, a temperatura do câmbio (T_c) é igual à temperatura do ar próximo à superfície da casca (T_i). Assim,

$$T_c = T_i \quad (6)$$

quando $dt = 0$

Considerando-se as hipóteses (i) e (v) e integrando a Equação 2 temos:

$$T_c = T_f \left(1 - e^{-\frac{dt}{\tau}} \right) + T_i \left(e^{-\frac{dt}{\tau}} \right) \quad (7)$$

Considerando-se as hipóteses (iii) e (iv) e substituindo a Equação 4 na Equação 6 temos:

$$T_c = \left(\frac{T_{\max} + T_i}{2} \right) \left(1 - e^{-\frac{dt}{\tau}} \right) + T_i \left(e^{-\frac{dt}{\tau}} \right) \quad (8)$$

Como T_i é da ordem de 20 °C e T_{\max} pode chegar a 800 °C, podemos considerar

$$\frac{T_{\max} + T_i}{2} = \frac{T_{\max}}{2} \quad (9)$$

e expressarmos a Equação (8) como sendo:

$$T_c = \frac{T_{\max}}{2} \left(1 - e^{\frac{dt}{r}} \right) + T_i \left(e^{\frac{dt}{r}} \right) \quad (10)$$

Utilizando-se a hipótese (ii), podemos substituir a Equação 3 na Equação 10 para lermos:

$$T_c = \frac{T_{\max}}{2} \left(1 - e^{-\frac{dtb}{X^a}} \right) + T_i \left(e^{-\frac{dtb}{X^a}} \right) \quad (11)$$

Assim, quando a velocidade de propagação do fogo é baixa (dt muito grande) e a casca da árvore é fina (x muito pequeno) a temperatura do câmbio tenderá a $T_c = T_{\max}/2$. Ao contrário, quando o fogo é rápido e a casca é grossa, a temperatura do câmbio permanecerá próxima ao seu valor inicial ($T_c = T_i$).

As constantes a e b podem ser determinadas experimentalmente modificando-se abruptamente a temperatura externa da casca (com o uso de um aquecedor), para um valor (T_f) constante no tempo, e medindo-se o aumento da temperatura do câmbio (T_c) em relação ao tempo (usando-se um registrador gráfico).

Substituindo-se a Equação 3 na Equação 2 temos:

$$\left(\frac{dT_c}{dt}\right) = \frac{b}{x^a}(T_f - T_c) \quad (12)$$

A igualdade é mantida se aplicarmos a função logaritmo neperiano nos dois lados da Equação 12, e podemos então escrever:

$$\ln\left(\frac{dT_c}{dt}\right) = -a \ln x + \ln[(T_f - T_c)b] \quad (13)$$

Para várias árvores de diferentes espessuras de casca (x), a taxa de variação da temperatura do câmbio em relação ao tempo (dT_c/dt) pode ser extraída graficamente das curvas obtidas em um registrador gráfico.

Neste trabalho, os valores de dT/dt foram obtidos mantendo-se a temperatura externa da casca constante $T_f = 100$ °C e determinando-se graficamente a taxa de aumento na temperatura do câmbio (T_c) durante o intervalo de tempo em que T_c vai de um valor inicial ($T_c = 25$ °C) até a temperatura letal (quando $T_c = 60$ °C). Esse intervalo foi escolhido porque a temperatura do câmbio aumenta, quase que linearmente no tempo, e também porque acima de 60 °C podem ocorrer modificações significativas nas células do câmbio, alterando assim as condições iniciais do meio e do experimento.

Plotando-se $\ln(dT/dt)$ contra $\ln x$, podemos notar pela Equação 13 que as constantes a e b podem ser determinadas graficamente (ou por regressão linear) pela inclinação e interseção da reta, respectivamente.

Queimadas controladas

Temperaturas do câmbio e da superfície da casca foram determinadas durante a realização de queimadas controladas, realizados na RECOR.

Para estas medidas foi utilizado o mesmo tipo de termopar que havia sido utilizado para a simulação e o mesmo procedimento para sua instalação. Em cada indivíduo foram instalados dois conjuntos de termopar, um a sotavento e outro a barlavento. Os dados foram coletados durante a passagem do fogo tendo sido registrados em registrador eletrônico (datalogger Campbell 21x), na frequência de um registro por segundo.

Devido ao número limitado de registradores essas medidas foram realizadas em apenas nove indivíduos, de sete espécies, que são: *Kielmeyera coriacea*, *Blepharocalix salicifolius*, *Rapanea guianensis*, *Byrsonima* sp, *Stryphnodendron adstringens*, *Eremanthus glomerulatus* e *Palicourea rigida*. para cada espécie foi utilizado um indivíduo, a exceção de *B. salicifolius*, da qual utilizaram-se três indivíduos.

Teor de água das cascas

Com o intuito de determinar o teor de água das cascas, bem como suas variações nas estações seca e chuvosa, foram coletadas amostras de cascas apenas das espécies de leguminosas, dos mesmos indivíduos onde foram feitas as simulações.

Foram retiradas amostras de cascas com o formão, de cerca de 5 cm (altura e largura) em média. Essas amostras foram pesadas imediatamente após a coleta e levadas a estufa a 80 °C até alcançarem peso constante. O mesmo procedimento foi

realizado nas estações seca e chuvosa. As amostras foram pesadas na balança Mettler P1200 N, com precisão de centésimos de grama.

Para o cálculo do teor de água foi utilizada a equação:

$$\text{Teor de água} = \frac{P_f - P_s}{P_s} \times 100 \quad (14)$$

Onde: P_f = peso fresco da amostra

P_s = peso seco da amostra

Dessa forma foi calculado o percentual de água em relação ao peso seco de cada amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este projeto foi desenvolvido com vistas a caracterizar, em condições naturais, a capacidade da casca das árvores do Cerrado como isolante térmico, definindo-se, para isso, que o trabalho seria realizado de forma a estudar um grupo composto de 19 espécies com uma ampla variação nos tipos de casca, para que se obtivesse uma caracterização média de toda a comunidade.

Taxas de aumento de temperatura do câmbio

Para a elaboração do modelo visando a previsão da temperatura do câmbio durante queimadas, fez-se necessária a determinação da taxa de aumento de temperatura do câmbio para cada espécie (dT_c/dt) em função da espessura de casca. Esta variação indica a velocidade de aumento da temperatura do câmbio quando se aplica uma fonte de calor na superfície da casca. Devido aos longos tempos de resposta das cascas mais espessas, foi necessário aplicar temperaturas externas mais altas do que as aplicadas para as cascas mais finas ($T_f = 100\text{ °C}$). Os valores da taxa de aumento da temperatura do câmbio em relação à espessura da casca e à temperatura externa aplicada podem ser vistos na Tabela 2.

Neste experimento trabalhou-se com 57 indivíduos, pertencentes a 19 espécies. Observou-se uma variação na espessura da casca de 3 a 41 mm e na taxa de aumento da temperatura do câmbio de 1,2 a 100,0 °C/min, para os testes com 100 °C; de 1,0 a 34,0 °C/min, nos testes com 200 °C; de 1,7 a 11,6 °C/min, nos testes com 300 °C e de 1,0 a 17,9 °C/min, nos testes com 400 °C.

Tabela 2 - Taxas de aumento de temperatura (dTc/dt) obtidas nos experimentos de simulação das queimadas, relacionados com a espessura da casca e temperatura aplicada.

Espécie	Espessura da casca (mm)	dTc/dt (°C/min.)	Temperatura externa(°C)
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	6	20,6	100
	10	2,9	100
	20	2,3	100
<i>Bowdichia virgiliodes</i>	3	41,4	100
	10	6,7	100
	27	1,6	400
<i>Machaerium opacum</i>	3	75,0	100
	20	11,2	300
	41	2,1	200
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	5	42,9	100
	14	3,1	100
	22	1,2	100
<i>Dalbergia miscolobium</i>	6	4,9	100
	16	1,6	100
	24	3,1	100
<i>Dimorphandra mollis</i>	5	13,3	100
	20	3,3	300
	28	1,0	400
<i>Pterodon pubescens</i>	7	17,2	200
	13	3,5	300
	16	1,0	200
<i>Enterolobium gumiferum</i>	3	4,6	100
	17	7,5	400
	31	4,1	400
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	5	33,0	100
	8	11,6	300
	9	4,3	400
<i>Acosmium dasycarpum</i>	10	12,0	200
	25	2,9	300
	27	3,8	200
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	4	10,0	100
	15	2,1	100
	22	7,1	300
<i>Miconia ferruginata</i>	3	9,1	100
	21	4,1	200
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	3	26,0	100
	9	28,6	200
<i>Roupala montana</i>	20	17,9	400
	4	100,0	100
<i>Styrax ferruginea</i>	18	25,4	200
	13	10,5	200
	17	7,3	400

Tabela 2 - Taxas de aumento de temperatura (dTc/dt) obtidas nos experimentos de simulação das queimadas, relacionados com a espessura da casca e temperatura aplicada (cont.).

Espécie	Espessura da casca(mm)	dT/dt (°C/min)	Temperatura externa(°C)
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	18	2,1	200
	10	13,4	200
	13	6,7	300
<i>Blepharocalix salicifolius</i>	13	8,0	400
	8	16,9	100
	11	8,2	300
<i>Didymopanax macrocarpum</i>	21	15,2	400
	8	34,0	200
	10	8,7	300
<i>Rapanea guianensis</i>	20	3,7	300
	5	10,0	100
	8	49,0	300
	23	3,7	400

Tendo em vista que foram feitos três testes para cada espécie, com diferentes espessuras da casca, obteve-se, para cada uma delas, uma variação da taxa de aumento de temperatura do câmbio em função da espessura da casca. Assim podemos destacar que há uma grande variação de espécie para espécie, permitindo-se que se discriminem as espécies que se apresentam nos extremos de resistência térmica. Podemos, então, destacar as espécies *Machaerium opacum*, com espessura de 3 mm e *Roupala montana*, com espessura de 4 mm, que apresentam taxas de aumento de temperatura mais altas, com 75,0 e 100,0 °C/min, respectivamente (Tabela 2). Além dessas podemos destacar *Bowdichia virgilioides* (com espessura de casca de 3 mm), *Stryphnodendron adstringens* (casca de 5 mm de espessura), e *Didymopanax macrocarpum* (casca de 8 mm de espessura), que apresentaram taxas mais altas do que o restante, apresentando 41,0, 42,0 e 34,0 °C/min, respectivamente. Estes resultados foram obtidos para as espessuras mais finas e todos com a aplicação de 100°C na superfície.

Das espécies com taxas mais baixas encontramos *Dalbergia miscolobium* (6mm de espessura) e *Piptocarpha rotundifolia* (4 mm de espessura de casca), com 4,9 e 10,0 °C/min. Além dessas podemos citar *Miconia ferruginata*, *Styrax ferruginea*, *Enterolobium gumiferum*, *Byrsonima verbascifolia* e *Acosmium dasycarpum* como espécies com baixas taxas de aumento de temperatura (Tabela 2).

Quando se tenta determinar a taxa de aumento de temperatura do câmbio em árvores vivas nas condições normais de trabalho de campo a temperatura da superfície pode variar de acordo com a ação do vento, da morfologia externa da casca e do potencial de inflamabilidade da casca. Em certas situações, ao aplicar o pulso de calor, a casca incendiava e a temperatura subia drasticamente ficando fora de controle. Portanto a temperatura na superfície da casca variou em média cerca de 20 a 30 °C (Figura 4) em torno do valor desejado (100 °C, 200 °C, 300 °C e 400 °C).

Os resultados obtidos parecem confirmar a idéia presente em boa parte dos estudos sobre ecologia do fogo de que os efeitos do fogo são diversificados para cada espécie, podendo-se, por isso, agrupar as em sensíveis e resistentes ao fogo, podendo haver uma seleção de espécies em sítios queimados. Estes resultados estão de acordo com o que foi encontrado por Hare (1965) que demonstrou haver diferenças específicas significantes na eficiência de isolamento térmico das cascas.

Vines (1968), trabalhando com *Eucalyptus* em incêndios de alta intensidade, encontrou valores de taxas de aumento de temperatura em torno de 15°C/min, para cascas de cerca de 12 mm, de 20 °C/min para cascas de menos de 10mm de espessura e de 3 °C/min, para cascas de espessura acima de 19mm. Neste trabalho encontrou-se uma variação de 1,0 a 100,0 °C/min para espessuras que variaram de 3 a 41 mm.

Ramos (1990) constatou que indivíduos com menos de 9 cm de circunferência apresentam morte da parte aérea após o fogo, causando redução do recrutamento e, conseqüentemente, redução do dossel. Entretanto essas conclusões não foram relacionadas à intensidade do fogo ou a outros fatores que influenciam essa variável. Neste trabalho, constatamos haver uma espessura de casca crítica para toda a comunidade, abaixo da qual há danos no câmbio, mas deve-se destacar que outros fatores podem interferir no processo. Os resultados também indicam que há diferenças específicas, que se fazem sentir de forma mais acentuada nos indivíduos jovens de casca fina, o que contraria as afirmações de Hare (1965), que constatou que as diferenças específicas são mais pronunciadas nas cascas mais espessas em coníferas da floresta temperada.

Ramos (1990) classificou a vegetação lenhosa do Cerrado em resistentes ao fogo, que são árvores de grande porte que sofrem dano mínimo e em tolerantes ao

fogo, aquelas que sofrem algum dano, com a perda da parte aérea, por exemplo. Nesta última categoria é reconhecido que a tolerância se daria por um sistema subterrâneo espessado e por uma casca espessa. Se há diferenças nas características de isolante térmico da casca, pode haver uma tolerância maior em algumas espécies, que mesmo com a morte da copa após a queimada, não apresentam morte aérea total, pelo menos de alguns indivíduos. Esta característica parece ser uma "vantagem" em relação a outras espécies, pois a morte da parte aérea pode abrir o sítio para a recolonização de outras espécies (Gill, 1981).

Os trabalhos realizados por Sambuichi (1991), baseados na ocorrência ou não de espécies em duas áreas contíguas, uma queimada e outra não, distinguiram algumas espécies entre resistentes e tolerantes ao fogo. A comparação dessas conclusões com as obtidas pela taxa de aumento de temperatura, demonstram haver certas discordâncias no que tange a ocorrência ou não, após o fogo, de espécies com casca de baixo e alto valor de isolamento térmico.

Assim, de acordo com Sambuichi (1991), *Machaerium opacum*, apresentou baixa resistência térmica da casca ~~ocorreu~~ após o fogo e as espécies *Dalbergia miscolobium*, *Styrax ferruginea*, *Miconia ferruginata* e *Stryphnodendron adstringens* que apresentaram a casca com resistência mais alta do que as demais são reduzidas pelo fogo na frequência de indivíduos.

Essa discordância de resultados parece indicar que outros fatores, além das características termofísicas da casca, são responsáveis pela ocorrência ou não da espécie em ambientes propícios ao fogo. Segundo Frost (1984) esses fatores seriam a distribuição heterogênea de combustível, a fenologia de cada espécie e as estratégias de cada uma em evitar o fogo no tempo ou no espaço.

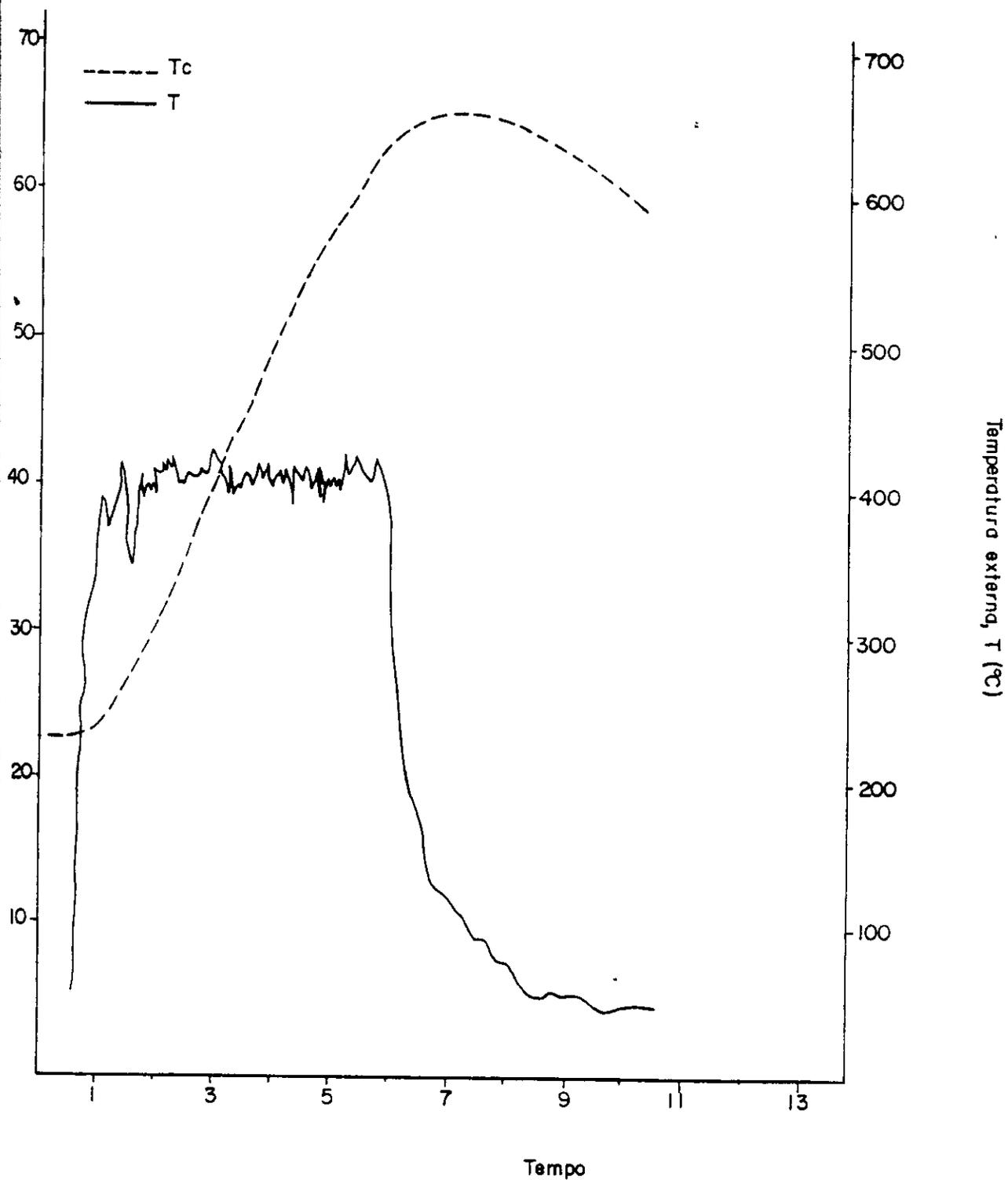


Figura 4 - Variação da temperatura com o tempo, para a espécie *Enterolobium gumiferum*, com casca de 17 mm de espessura.

Portanto, para que se possa reconhecer os reais efeitos das queimadas nessas espécies, bem como as suas estratégias de resistência ao fogo, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos complementares referentes às propriedades termofísicas da casca (incluindo o fator densidade), a características de distribuição e ocorrência em locais heterogêneos e à análise da distribuição e queima de combustíveis nas áreas em que ocorrem essas espécies.

Determinação das constantes a e b do modelo matemático

O modelo matemático proposto neste trabalho para a determinação da temperatura do câmbio em função da espessura da casca apresentado na equação (11) é:

$$T_c = \frac{T_{\max}}{2} \left(1 - e^{-\frac{dtb}{x^a}} \right) + T_i \left(e^{-\frac{dtb}{x^a}} \right)$$

e as constantes a e b foram determinadas para valores de temperatura externa $T_f = 100$ °C e temperatura de câmbio aumentando até $T_c = 60$ °C. Assim, pela Equação 11 temos:

$$\left(\frac{dT_c}{dt} \right) = -a \ln x + \ln(40b)$$

Por regressão linear ($n=30$), foram obtidos os seguintes valores para as constantes:

$$\begin{aligned} \text{inclinação} &= -1.16 (= -a) \\ \text{interseção} &= 4.59 [\ln(40b)] \\ r^2 &= 0.57 \end{aligned}$$

Substituindo os valores de a e b na Equação 11 podemos escrever o modelo matemático como:

$$T_c = \frac{T_{\max}}{2} \left(1 - e^{x \frac{2,5dt}{1,16}} \right) + T_i \cdot e^{x \frac{2,5dt}{1,16}} \quad (15)$$

Uma vez que as constantes a e b foram determinadas por regressão linear entre (dTc/dt) em °C e as espessuras das cascas (x) em mm, o tempo de duração da passagem do fogo (dt) na Equação 15 deve ser dado em min.

As Figuras 5 e 6 apresentam as taxas de aumento de temperatura do câmbio em relação à espessura da casca, que foram utilizadas para a determinação das constantes a e b, por regressão.

Determinação da temperatura do câmbio por modelagem matemática

Através da modelagem matemática foram determinados a temperatura do câmbio (Tc) e o tempo para o câmbio alcançar 60 °C (t), considerada temperatura letal neste trabalho. Como o modelo utilizado é sensível à temperatura da queimada (Tmax), à temperatura inicial do câmbio (Ti), ao tempo de duração da queimada (t') e à espessura da casca (x), foram utilizadas nos cálculos as condições médias de uma queimada no Cerrado em questão (Miranda *et al.*, 1992). Foram definidos os seguintes valores para a determinação da temperatura do câmbio:

$$t = 1,5 \text{ min.}$$

$$T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{max}} = 180, 380 \text{ e } 780 \text{ }^\circ\text{C}$$

Na Figura 7 observa-se o comportamento da temperatura do câmbio para diferentes espessuras de casca (de 1 a 10, 20 e 30 mm) para três intensidades de queimadas.

Nesta figura pode-se observar também que para cada intensidade de queimada tem-se uma espessura crítica, abaixo da qual pode haver danos no câmbio.

Feitas essas considerações podemos destacar que:

- para incêndios de $T_{\text{max}} = 180 \text{ }^\circ\text{C}$, com 1,5 min de duração, árvores com casca de espessura abaixo de 4 mm sofrem danos no câmbio;
- para incêndios de $T_{\text{max}} = 380 \text{ }^\circ\text{C}$ com 1,5 min de duração, árvores com cascas abaixo de 10 mm de espessura sofrem danos no câmbio;
- para incêndios de $T_{\text{max}} = 780 \text{ }^\circ\text{C}$ com 1,5 min de duração, árvores com cascas abaixo de 20 mm de espessura sofrem danos no câmbio.

Para o cálculo do tempo necessário para o câmbio alcançar $60 \text{ }^\circ\text{C}$, foram utilizados os valores apresentados anteriormente. A Figura 8 apresenta a relação entre o tempo necessário para o câmbio atingir $60 \text{ }^\circ\text{C}$ e a espessura da casca.

Os resultados da modelagem matemática demonstraram ser aplicáveis às queimadas realizadas no Cerrado, principalmente porque o modelo é sensível a alguns fatores importantes para a determinação da temperatura do câmbio, que são a temperatura inicial do câmbio, que apresenta flutuações durante o dia acompanhando a temperatura do ar e insolação (Hare, 1965); a temperatura na superfície da casca, que depende da intensidade do fogo e da inflamabilidade da casca (Vines, 1968); a espessura

da casca (Martin, 1963; Reifsnyder *et al.*, 1967; Uhl & Kauffman, 1991) e o tempo de duração do pico de calor, ou seja, da própria queimada.

Estes fatores referem-se a características das queimadas a excessão da espessura da casca que insere a capacidade de resistência térmica da casca, visto que este é um fator citado como o mais importante na derterminação da proteção do câmbio a altas temperaturas

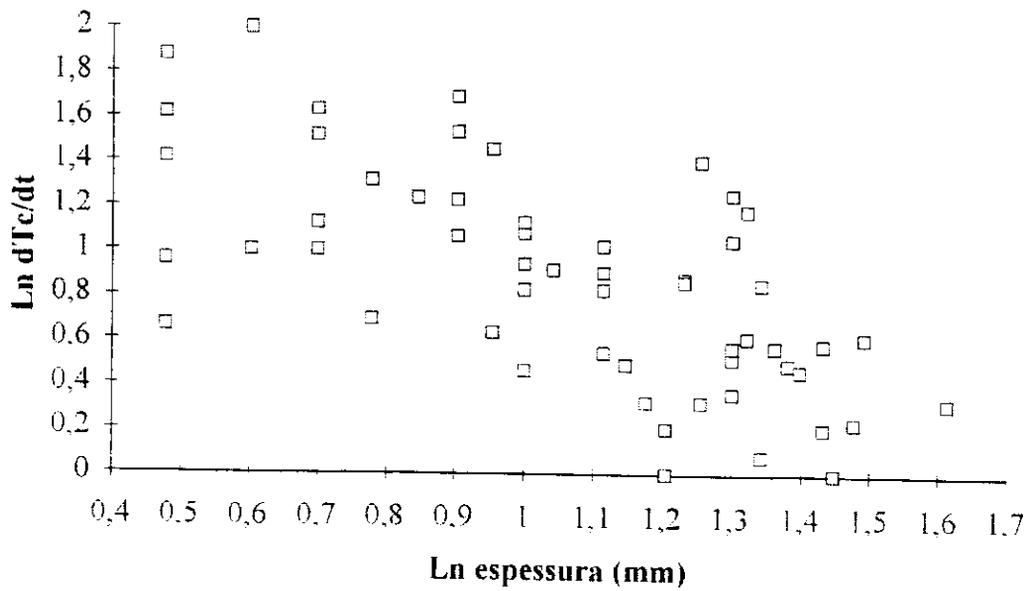
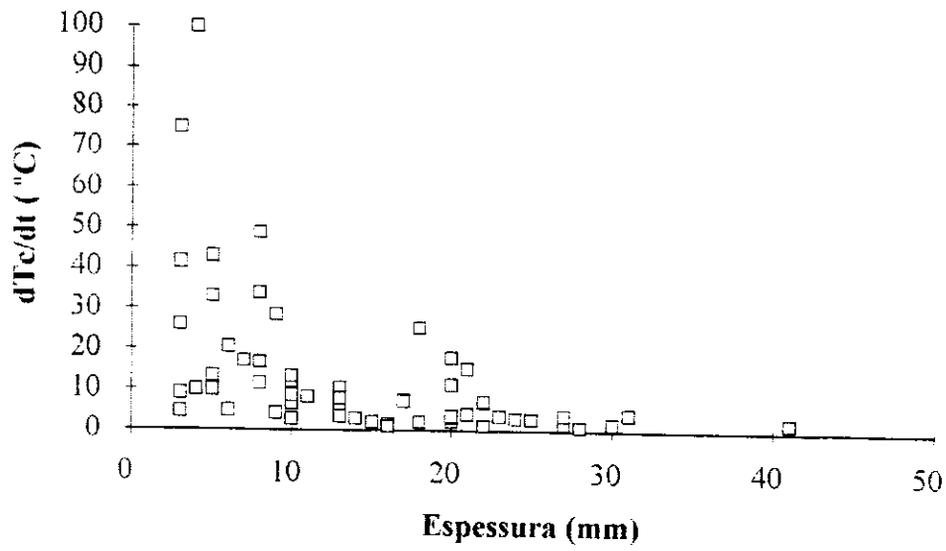


Figura 5 - Variação das taxas de aumento de temperatura do câmbio (dT_c/dt) com a espessura da casca em todos os testes realizados: (a): escala normal. (b): escala logaritmica.

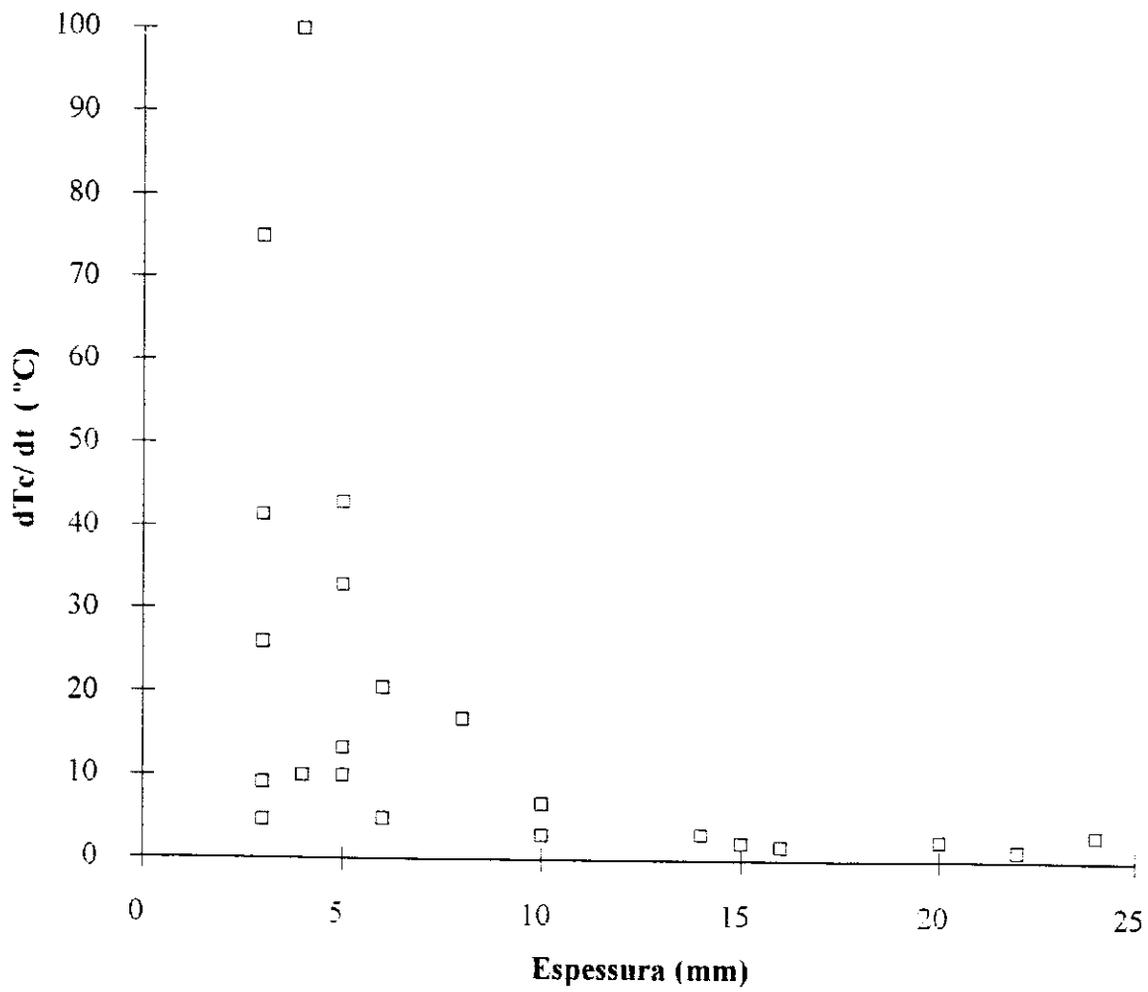


Figura 6 - Variação das taxas de aumento de temperatura (dT/dt) com a espessura da casca nos testes feitos com 100°C

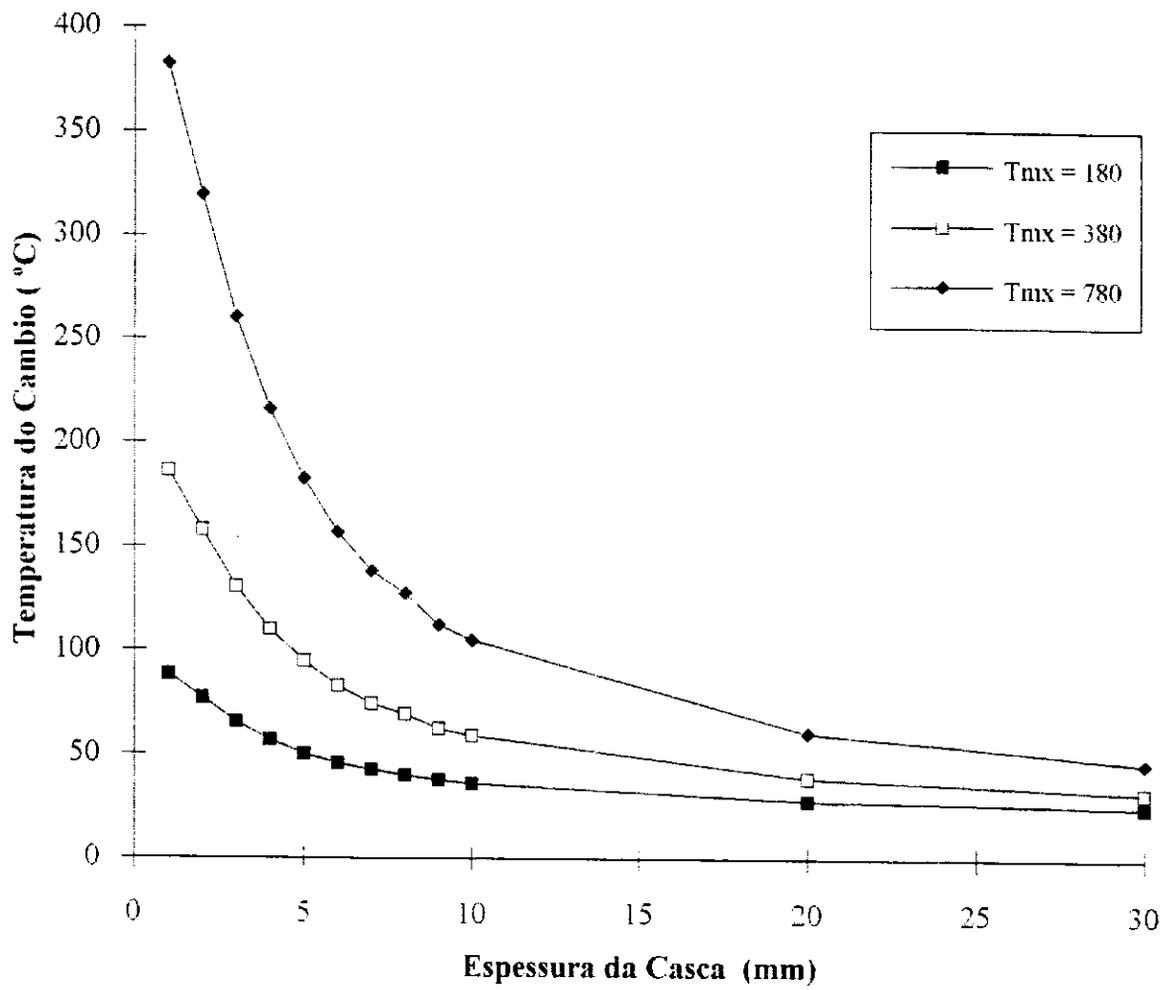


Figura 7 - Curvas de temperatura do cambio para três tipos de queimadas com 1.5 minutos de duração

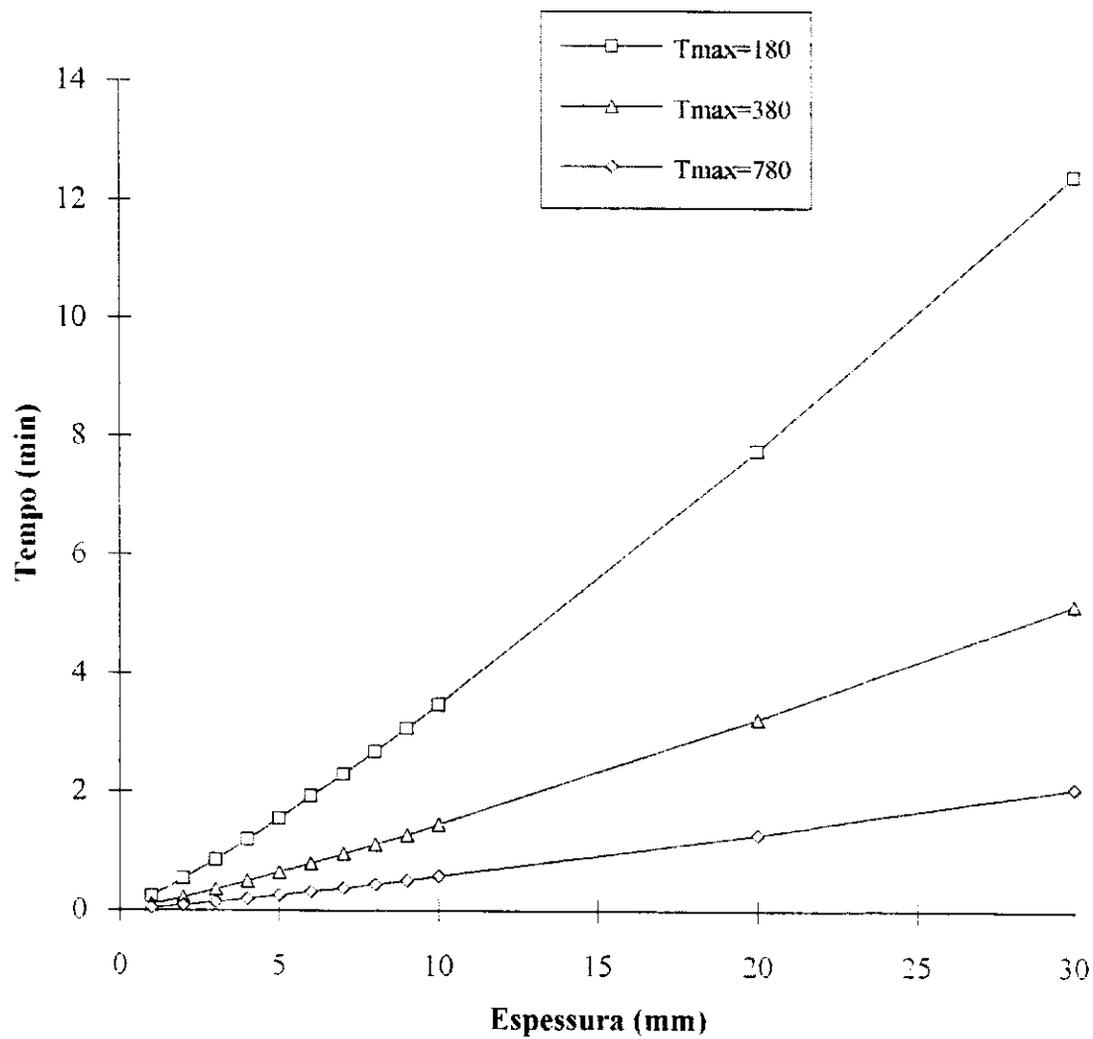


Figura 8 - Curvas de tempo para o câmbio alcançar 60 °C, durante três queimadas com 1,5 minutos de duração

Uma característica importante do modelo em questão é a capacidade de determinar a espessura de casca abaixo da qual há danos no câmbio para cada intensidade de queimada. Os resultados obtidos neste tópico estão em consonância com os obtidos em queimadas, tanto as realizadas para este trabalho quanto as observadas em outras pesquisas, realizadas em outros biomas. Desta forma pode-se prever os danos sofridos pela vegetação lenhosa de um ambiente sujeito a incêndios, desde que se tenha a informação referente ao percentual de indivíduos que apresentam cada categoria de espessura de casca.

O dano no tecido do câmbio se faz sentir principalmente nos indivíduos pequenos e nas plântulas, como constatado por Ramos (1990) e também por Filgueiras (1981). Neste trabalho constatamos que indivíduos com espessura da casca abaixo de 6mm, para incêndios com temperaturas em torno de 380°C na superfície da casca, sofrem danos no câmbio. Os indivíduos de porte arbustivo que apresentam casca espessa não apresentam morte da parte aérea devido a danos no câmbio em uma única queimada. Para árvores grandes, consideradas resistentes por Ramos (1990), o dano é mínimo, mas fatores como o regime de queima podem interferir no processo.

Esses resultados são compatíveis com os encontrados por Uhl & Kauffman (1990), que encontraram o valor crítico de espessura igual a 6,4 mm, para espécies da Floresta Amazônica.

É importante ressaltar que esses danos ocorrem apenas no ponto em que a espessura da casca e a temperatura da sua superfície forem as indicadas, não implicando, necessariamente, em danos em todo o anel, o que causaria a morte do indivíduo. Destaca-se ainda que há uma grande heterogeneidade ao longo do tronco, tanto a nível da espessura da casca (que é muito variável) quanto ao nível da diversidade de temperaturas

ao longo e em torno do tronco durante uma queimada.

Comparando os resultados do modelo com estudos realizados por outros pesquisadores, pode-se constatar que há uma boa concordância entre os resultados deste trabalho e de outros, realizados em diferentes ecossistemas (Figuras 9 e 10).

Na Figura 9 são apresentados os resultados referentes a temperatura alcançada pelo câmbio durante incêndios, relacionada com a espessura da casca, onde estão plotados os dados de Vines (1968), coletados em espécies de *Eucaliptus* em queimadas realizadas na Austrália, bem como os de Uhl & Kauffman (1990), referentes a espécies da Floresta Tropical Amazônica.

Para Vines (1968) a espessura abaixo da qual há morte do câmbio é de 12 mm; enquanto que para Uhl & Kauffman (1990) essa espessura é de 6,4 mm. Neste modelo encontrou-se o valor de 10 mm, para incêndios de 380 °C com 1,5 min de duração e de 6mm para incêndios de 0,7 min de duração (que ocorreram no Cerrado no ano de 1992).

A Figura 10 ilustra a comparação dos resultados encontrados com relação ao tempo para o câmbio alcançar 60 °C, quando há um "input" de calor na superfície da casca. Estão plotados os resultados de Hare (1965), para espécies da floresta temperada americana; de Vines (1968), para florestas de *Eucaliptus* na Austrália e de Gill (1968), para simulações realizadas em laboratório com espécies de *Eucaliptus*. Para comparação com o trabalho de Gill (1968), os resultados foram recalculados com o modelo deste trabalho para que se pudesse introduzir a baixa temperatura inicial nas condições de realização do mesmo (que foi de cerca de 11 °C), sendo mantidos os valores de Tmax e de espessura da casca.

Observou-se que, de acordo com o modelo, as queimadas que mais se relacionaram com os resultados encontrados na literatura são as de Tmax com cerca de

380 a 500 °C, devendo ser esse o tipo de queimada mais frequente, pelo menos para as situações de queimadas controladas.

Vale ressaltar que há uma grande diferença na duração da queimada, pois neste trabalho, como no de Uhl & Kauffman (1990), a temperatura da superfície da casca raramente permaneceu acima de 100 °C por mais de 200 segundos, enquanto que para floresta temperada esta permaneceu acima de 100°C por mais de 400 segundos (Fahnestock & Hare, 1964, em Uhl & Kauffman, 1990). Já Vines (1968) observou para incêndios na Austrália que as árvores ficam sujeitas às altas temperaturas por até 15 minutos.

Além disso, é importante destacar que existem diferenças significativas nas metodologias utilizadas nos diferentes trabalhos considerados, pois no trabalho de Vines (1968) os dados de temperatura do câmbio foram os medidos nas queimadas; no de Gill (1968) a simulação foi feita em laboratório com a utilização de um aquecedor elétrico radiante em troncos; no trabalho de Hare (1965) foi utilizada uma tocha de gás propano; nos Trabalhos de Uhl & Kauffman (1990) a simulação foi feita com a queima de um barbante embebido em querosene enrolado no tronco. Neste trabalho a simulação foi feita com aquecimento promovido por resistência elétrica. Essas diferenças de metodologia, aliadas a condições ambientais de dissipação do calor, podem ter promovido as diferenças observadas nos resultados obtidos nos trabalhos.

Comparação dos resultados do modelo com os dados coletados nas queimadas realizadas na RECOR- IBGE

Nas Figuras 11 a 18 são apresentados os dados de temperatura do câmbio para diferentes espessuras de casca durante a passagem do fogo em queimadas realizadas na RECOR.

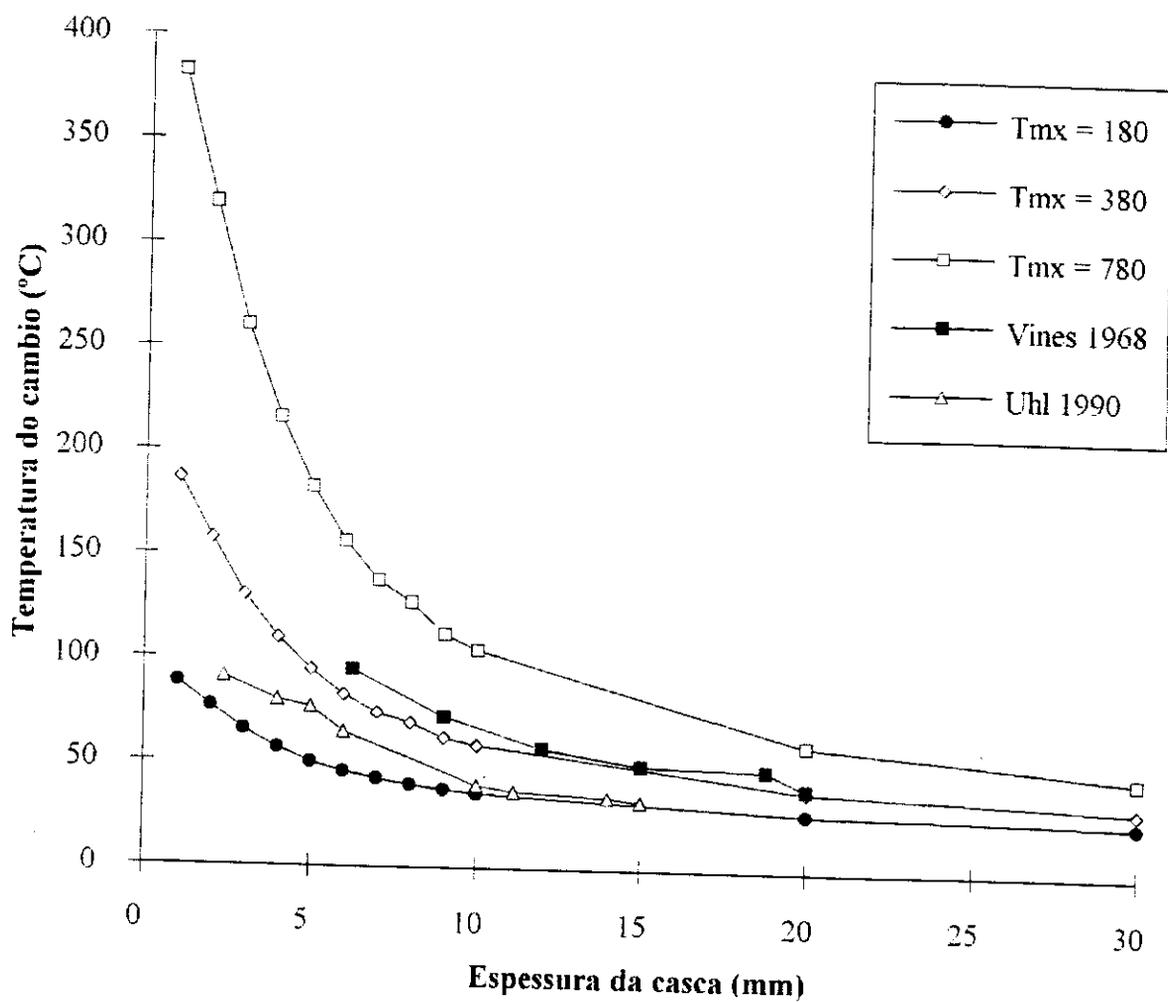


Figura 9 - Comparação da relação da temperatura do câmbio com a espessura da casca durante as queimadas medidos neste trabalho com os valores medidos em outros trabalhos

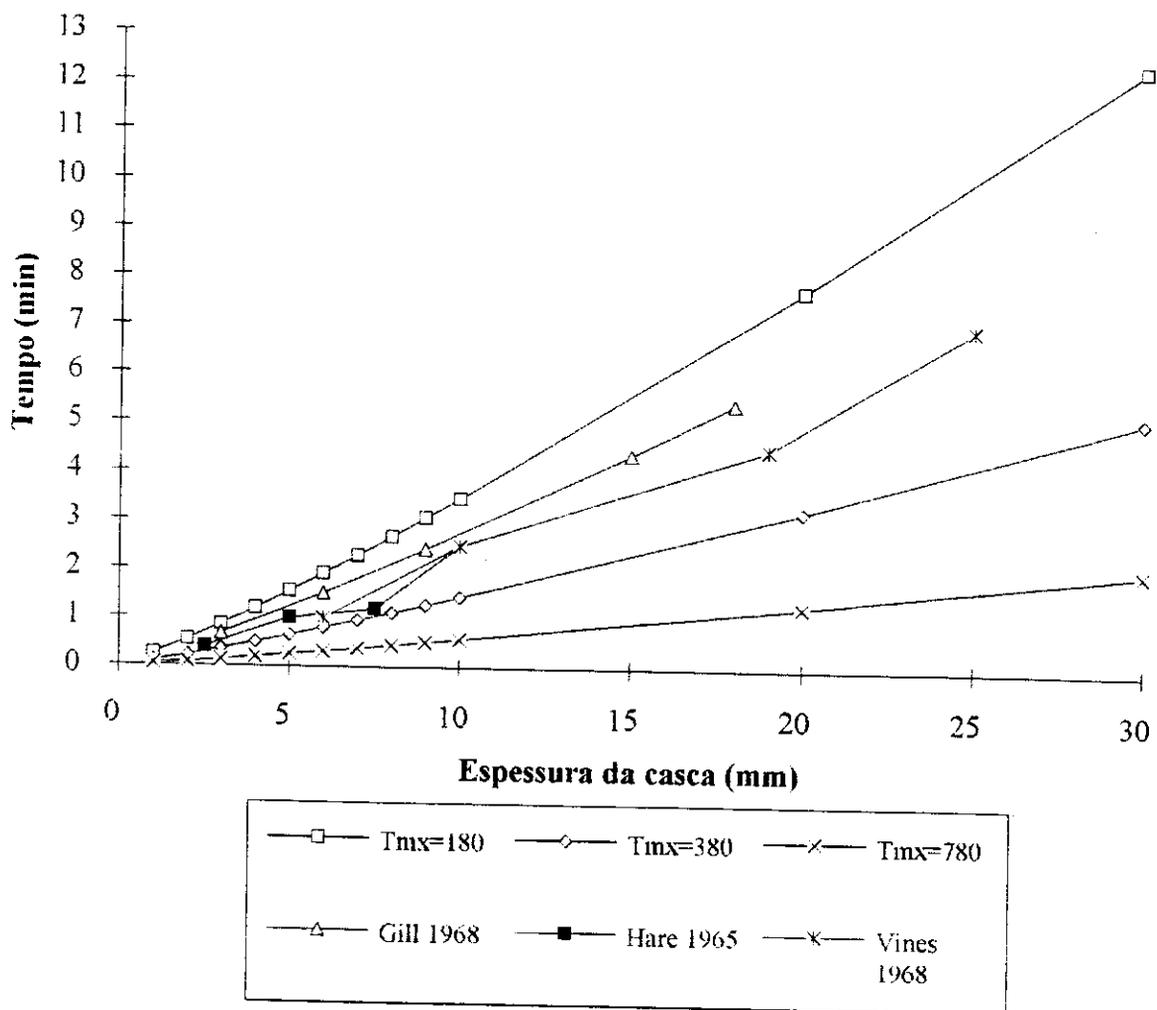


Figura 10 - Comparação dos resultados do modelo deste trabalho com valores observados na literatura, com relação ao tempo para o câmbio alcançar 60 °C.

Os valores de espessura abaixo da qual há morte do câmbio (espessura crítica), ou seja, espessura em que o câmbio alcança 60 °C, também apresentam semelhanças entre a modelagem e os dados de campo, para incêndios com tempo médio de 0,7 minutos, quais sejam:

para $T_{max} = 180$ °C, espessura da casca de 3mm

para $T_{max} = 380$ °C, espessura de casca de 6mm

para $T_{max} = 780$ °C, espessura de casca de 16mm

Para a determinação da aplicabilidade do modelo elaborado, foram comparados os dados de temperatura do câmbio coletados durante as queimadas com os resultados referentes a temperaturas calculadas por meio da modelagem matemática. Durante as queimadas foram medidas a temperatura do fogo, temperatura inicial do câmbio, o tempo de duração de cada queimada e a espessura da casca. Em suma, foi feita uma comparação entre as temperaturas do câmbio observadas durante as queimadas e as calculadas por modelagem matemática, para cada queimada diferente (Tabela 3).

A regressão dos valores de T_c calculados com o modelo (T_{cm}) e os medidos durante as queimadas (T_{cq}), resultou na seguinte equação:

$$T_{cq} = 1.06 T_{cm} - 4,25$$

com $r = 0,9471$ e erro padrão de 0,26. Sendo r maior do que duas vezes o seu erro padrão é bastante provável que haja correlação entre as variáveis (Sounis, 1975). O diagrama o diagrama de dispersão entre T_{cm} e T_{cq} é apresentado na figura 19.

Na Figura 20 pode-se observar a diferença entre os valores de temperatura

do câmbio medidos e calculados, dada em percentual. Constata-se que sete das 16 medidas apresentaram resíduos maiores do que 10%, destas, uma está acima de 20%. Dessas sete, quatro são referentes a queimadas de baixas temperaturas no câmbio, essas quatro medidas apresentam um desvio negativo, o que indica que o modelo utilizado está subestimando valores de T_c para queimadas menos intensas. Para essas queimadas há uma maior dificuldade na realização das medidas, pois temperaturas baixas e por longos períodos podem aumentar a ocorrência de erros de medidas.

Teor de água das cascas

O teor de água das cascas é fortemente influenciado pela proporção entre as cascas externa e interna, tendo em vista que a casca interna pode apresentar mais de 100% de seu peso seco em água, comparado com 10 a 20% da casca externa. A quantidade de água contida na casca, por sua vez, exerce grande influência na sua condutividade térmica e a variação nessa quantidade de água pode acarretar em flutuações nas suas propriedades térmicas também (Spalt & Reifsnnyder, 1961).

Na Tabela 4 estão relacionados os teores de água das espécies de leguminosas nas estações seca e chuvosa, esses resultados referem-se apenas a uma coleta para cada indivíduo e estação. Estes resultados permitem que sejam observadas as variações sazonais do teor de água das cascas, bem como sua relação com a diversidade morfológica das mesmas.

Na Tabela 4 pode-se constatar que as maiores flutuações, bem como os maiores valores de teor de água, ocorrem nas cascas mais finas de indivíduos jovens, já que estas apresentam uma maior proporção de ritidoma (casca morta e impermeável) com relação a proporção de casca interna (com relação a proporção de casca interna (tecido vivo), além disso, o conteúdo de água das cascas finas é sempre maior do que em

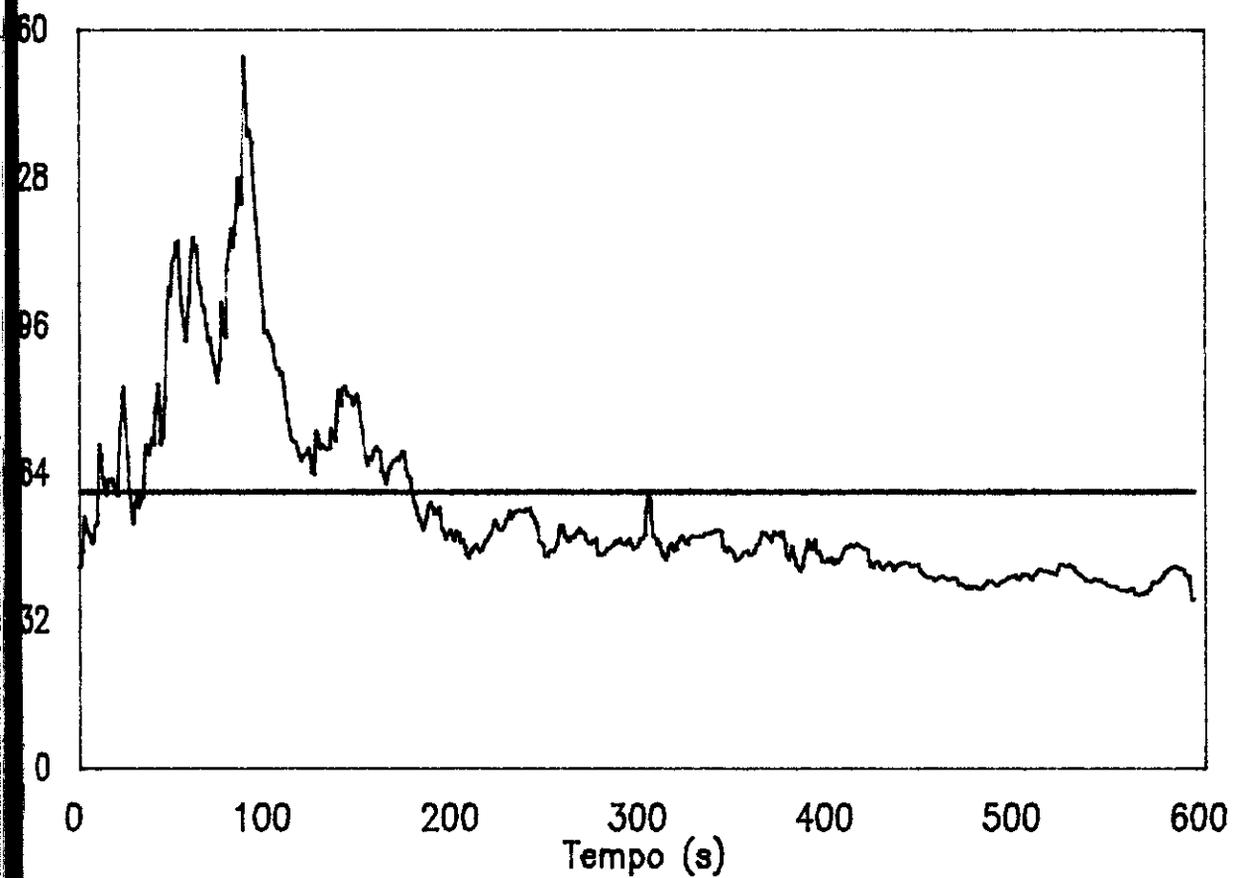
cascas mais espessas, como se esperava encontrar.

Para a observação do teor de água as cascas foram divididas em dois grupos, de acordo com sua espessura e conforme definido por Roth (1981), sendo as cascas de espessura abaixo de 10 mm consideradas de espessura média a fina e as de espessura acima de 10 mm consideradas espessas. Para as cascas de média a finas o teor médio foi de 101% para a estação seca e de 128% para a chuvosa, com coeficientes de variação iguais a 33 e 39% respectivamente, enquanto que, para as cascas espessas, as médias foram de 78%, para a estação seca, e de 83% para a estação chuvosa, com coeficientes de variação de 24 e 22%, respectivamente.

Conforme pode ser observado não há grande variação sazonal no teor de água médio para as espécies analisadas, tanto para as cascas espessas quanto para as cascas finas, mas parece haver uma grande variação nos valores para cada espécie, demonstrado pelos altos valores nos coeficientes de variação.

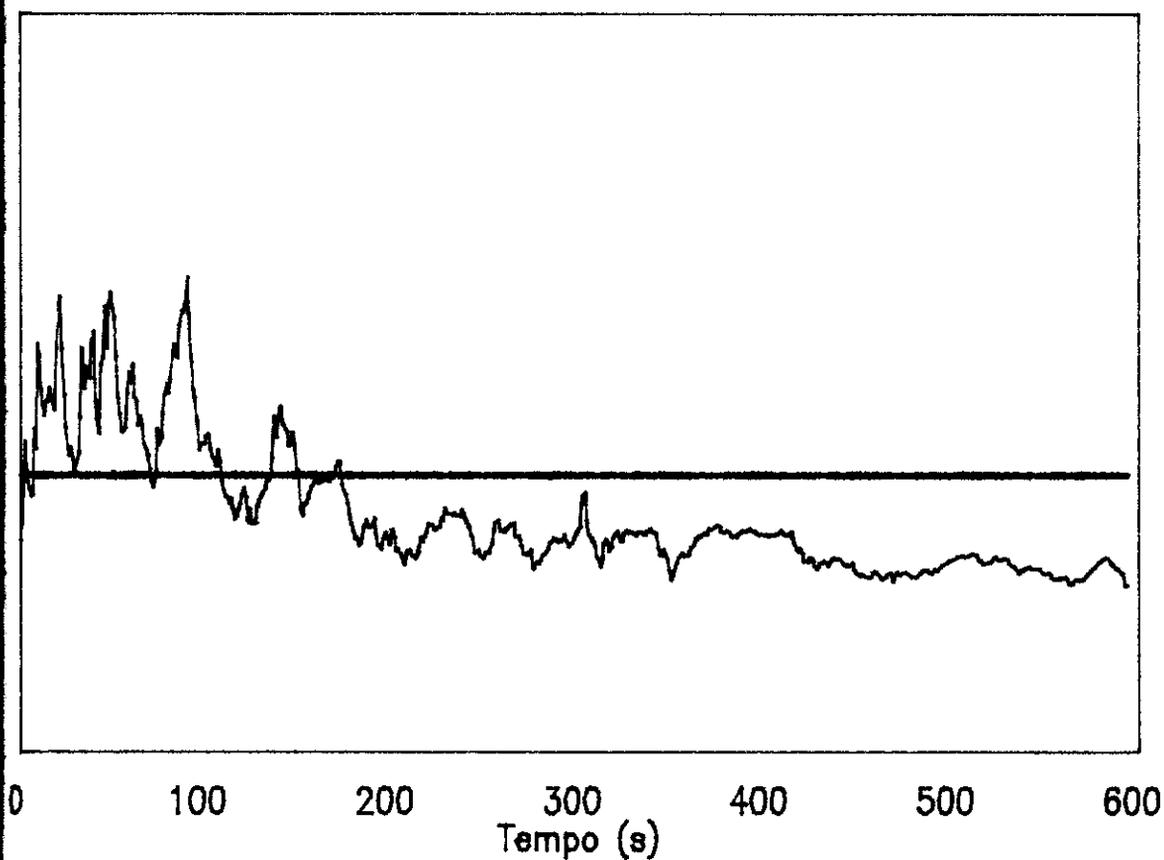
Na Tabela 5 é apresentada a morfologia externa da casca das espécies estudadas, onde pode ser observada a ampla variação de tipos de cascas escolhidos para este trabalho.

Além da elaboração de um modelo matemático para a determinação da temperatura do câmbio quando se aplica um input de calor na superfície da casca, algumas informações foram coletadas com referência a caracterização preliminar do teor de água das cascas das espécies de leguminosas estudadas neste trabalho, a descrição sucinta da sua morfologia externa e a taxa de aumento da temperatura do câmbio quando se aplica uma fonte térmica na superfície da casca. Essas informações foram apresentadas para se demonstrar a diversificação de tipos de cascas presentes no Cerrado, que podem interferir na resistência das espécies a altas temperaturas causadas pelas queimadas.



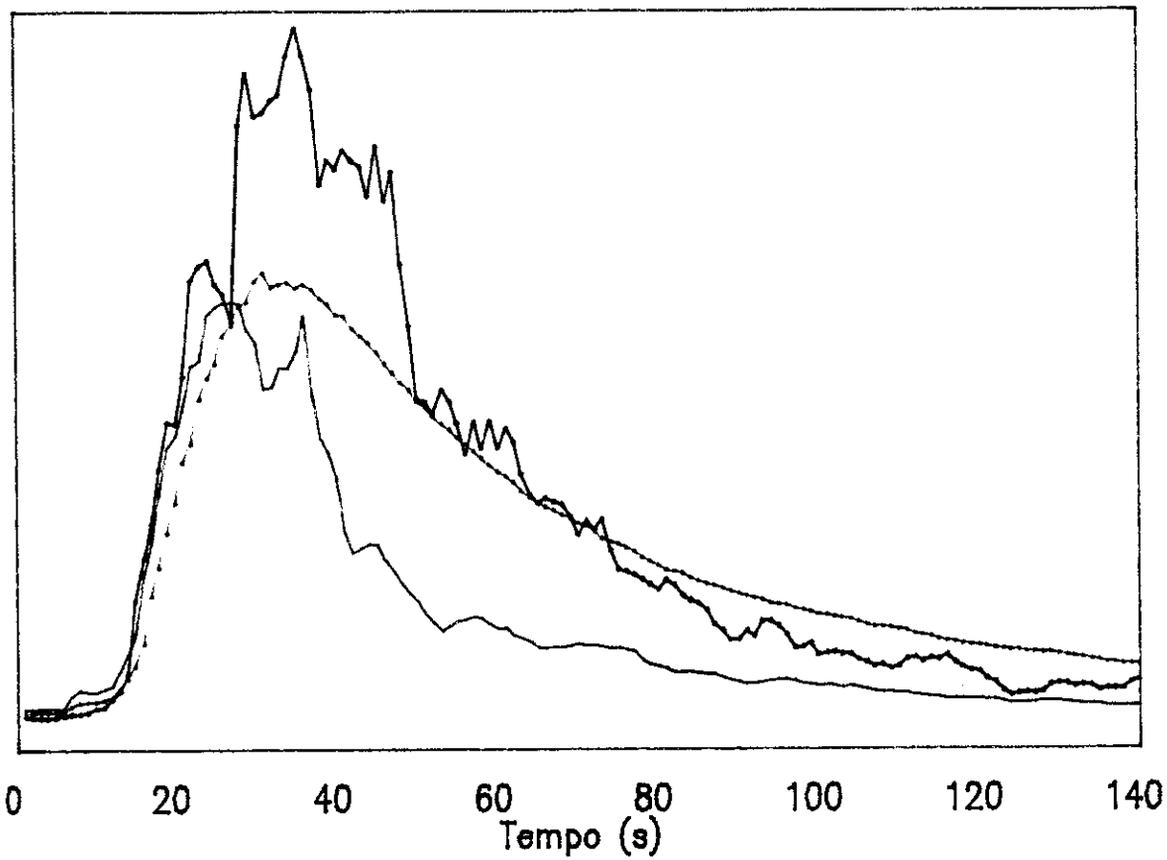
T.CAMBIO 1,6mm — T. EXTERNA

Figura 11 - Dados de temperatura do câmbio e da superfície da casca observados para a espécie *Blepharocalyx salicifolius*, com casca de 1,6 mm de espessura, durante queimada em Cerrado (s.s.) realizada no dia 19/08/92.



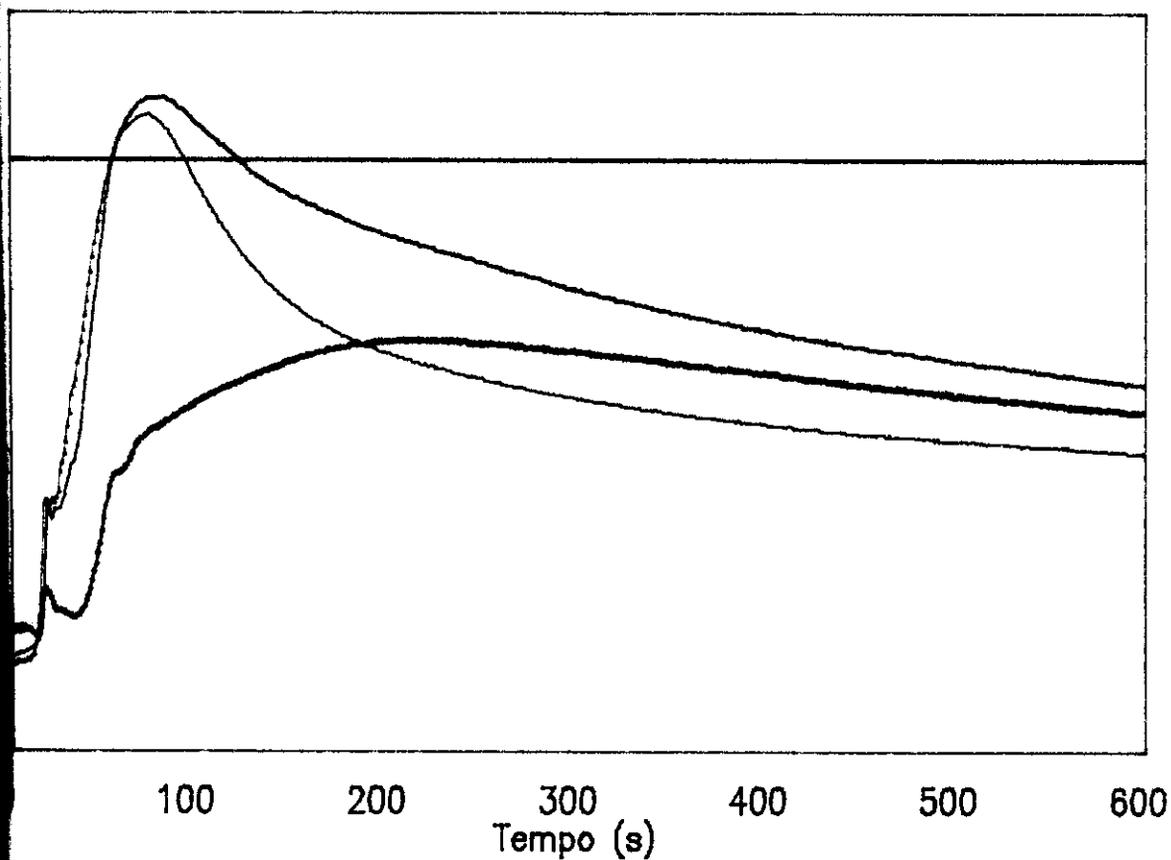
T.CAMBIO 3mm — T. EXTERNA

Figura 12 - Dados de temperatura do câmbio e da superfície da casca observados para a espécie *Blepharocalyx salicifolius*, com casca de 3mm de espessura, durante uma queimada em Cerrado (s.s.), no dia 19/08/92



— Byr 6.6mm · · · Byr 7mm — Bar 9mm Bar 9.6mm

Figura 13 - Dados de temperatura da superfície da casca observados para as espécies *Byrsonima sp* (Byr) e *Stryphnodendron adstringens* (Bar), durante uma queimada em Campo Sujo, no dia 15/09/92 medidos em locais opostos do tronco.



6.6mm ···· Byr 7mm — Bar 9mm Bar 9.6mm ···· Temp. Letal

Figura 14 - Dados de temperatura do câmbio observados para as espécies *Byrsonima* sp (Byr) e *Stryphnodendron adstringens* (Bar), durante uma queimada em Campo Sujo, no dia 15/09/92 medidos em locais opostos do tronco.

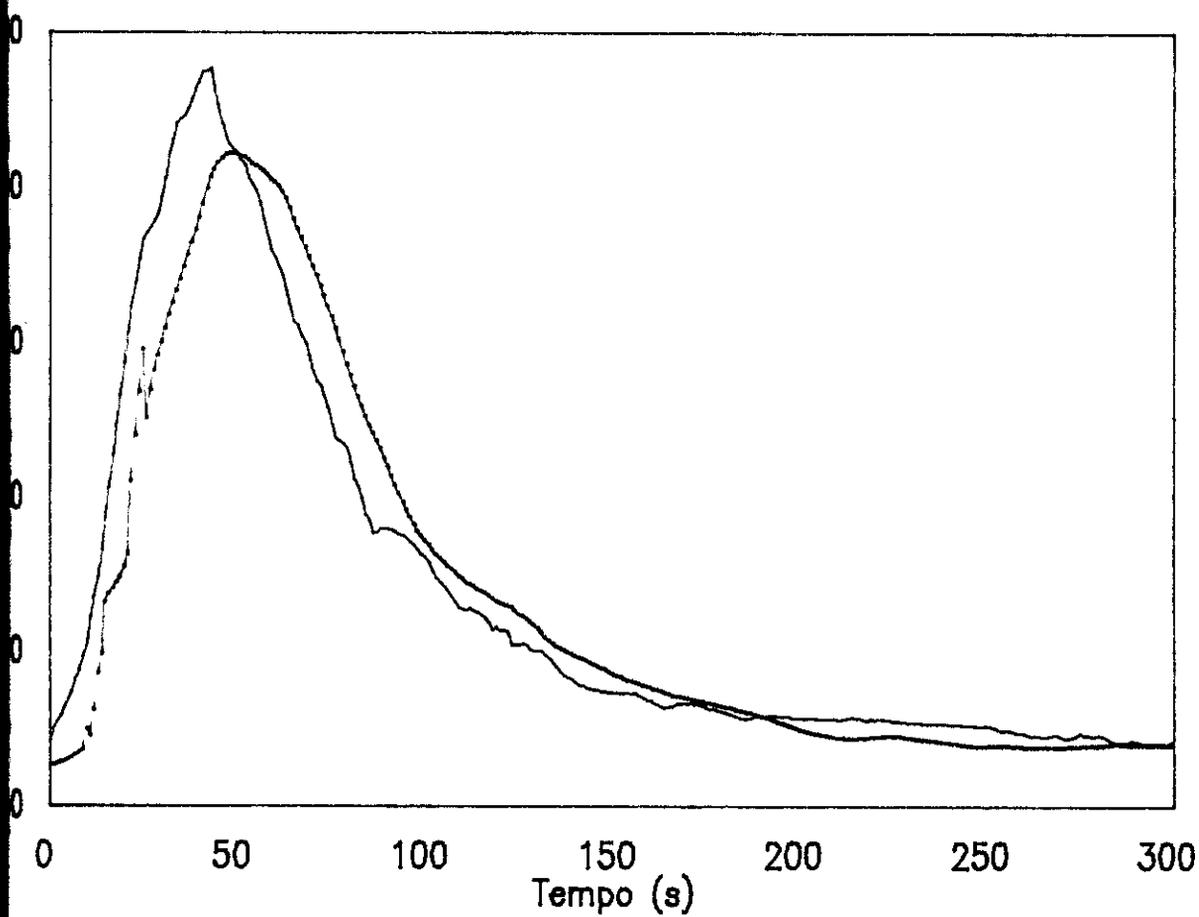


Figura 15 - Dados de temperatura da superfície da casca observados para a espécie *Palicourea rigida*, durante uma queimada em Cerrado denso, em 16/09/92, medidos em lados opostos do tronco, com espessuras de casca de 10,6mm (linha vermelha) e 11,3mm (linha verde).

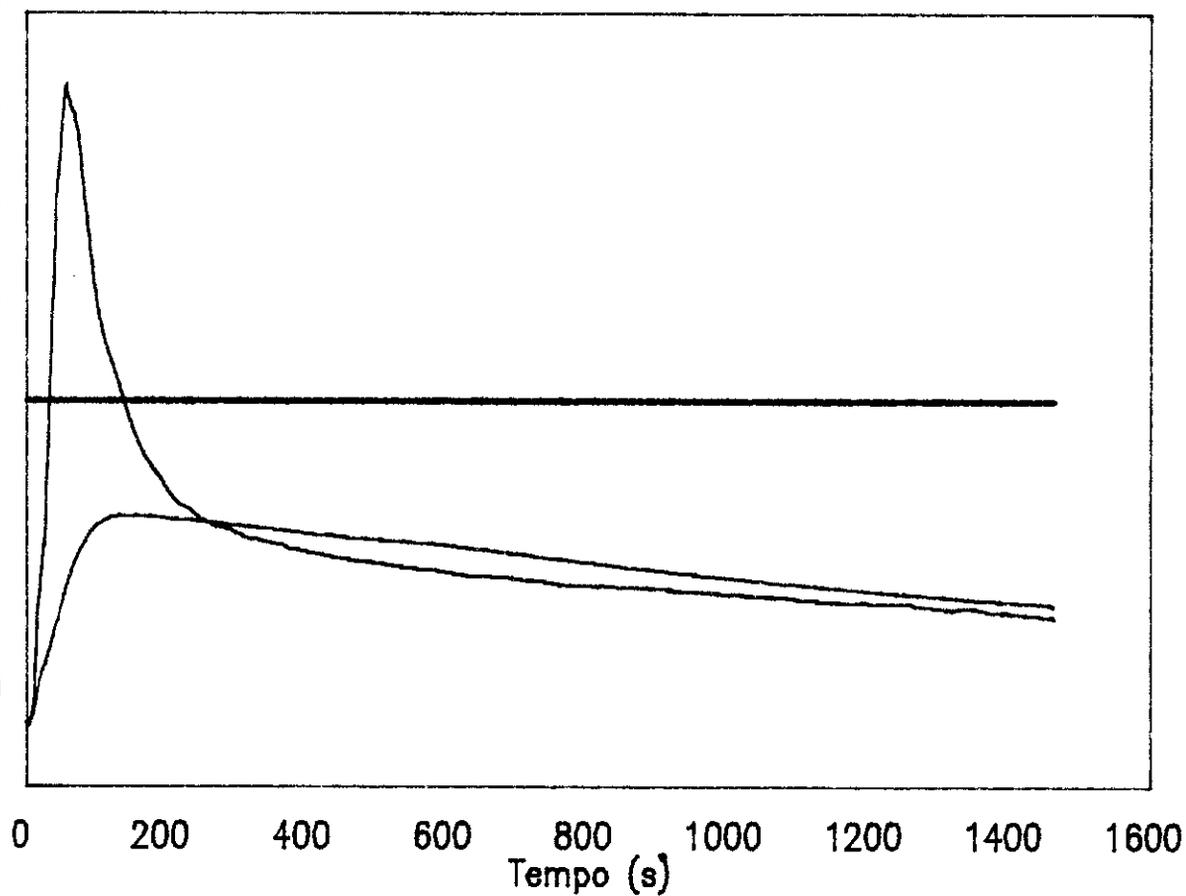


Figura 16 - Dados de temperatura do câmbio observados para a espécie *Palicourea rigida*, durante uma queimada em Cerrado denso, em 16/09/92, medidos em lados opostos do tronco, com espessuras de casca de 10,6mm (linha vermelha) e 11,3mm (linha verde).

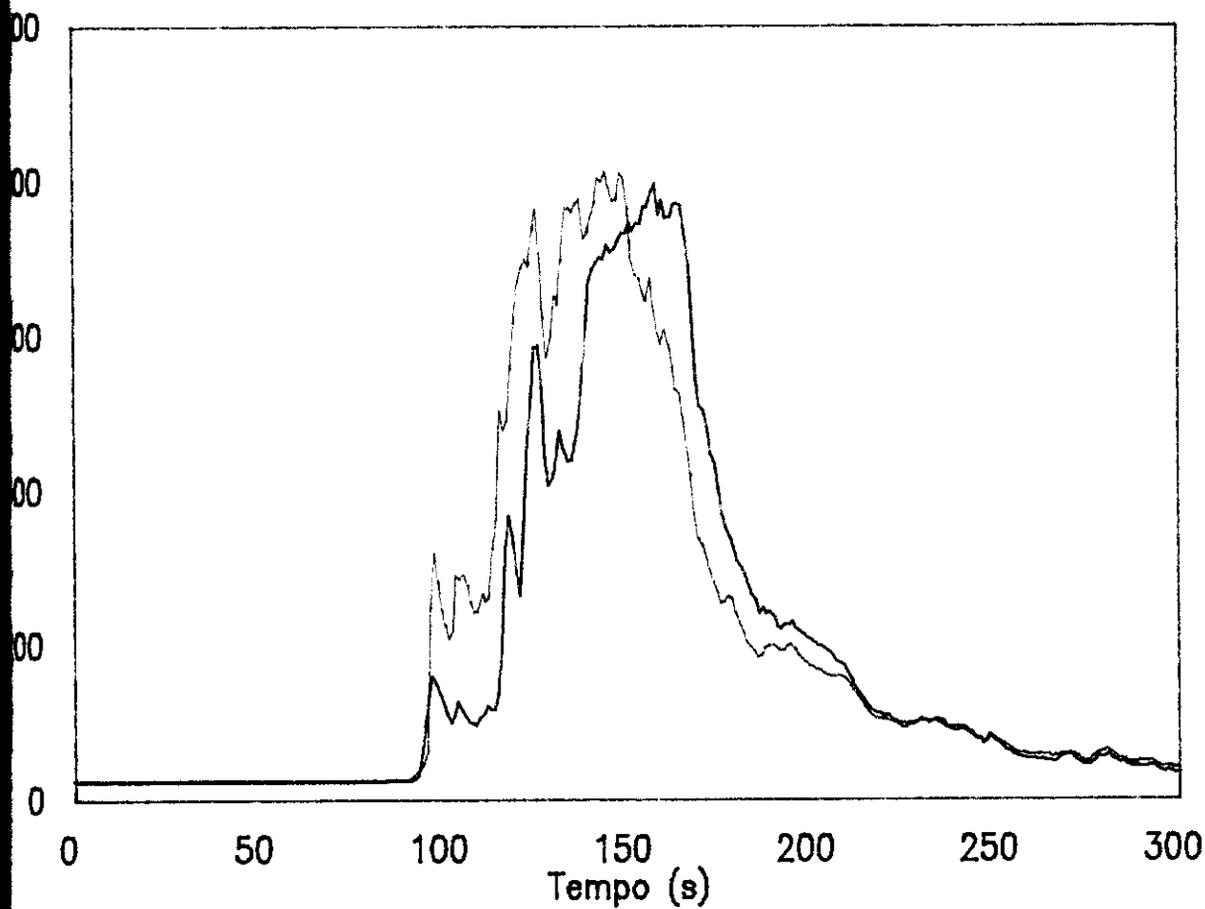


Figura 17 - Dados de temperatura da superfície da casca observados para a espécie *Fremanthus glomerulatus* durante uma queimada em Cerrado denso, em 16/09/92, medidos em lados opostos do tronco, com espessuras de casca de 4,5mm (linha vermelha) e 5,4mm (linha verde).

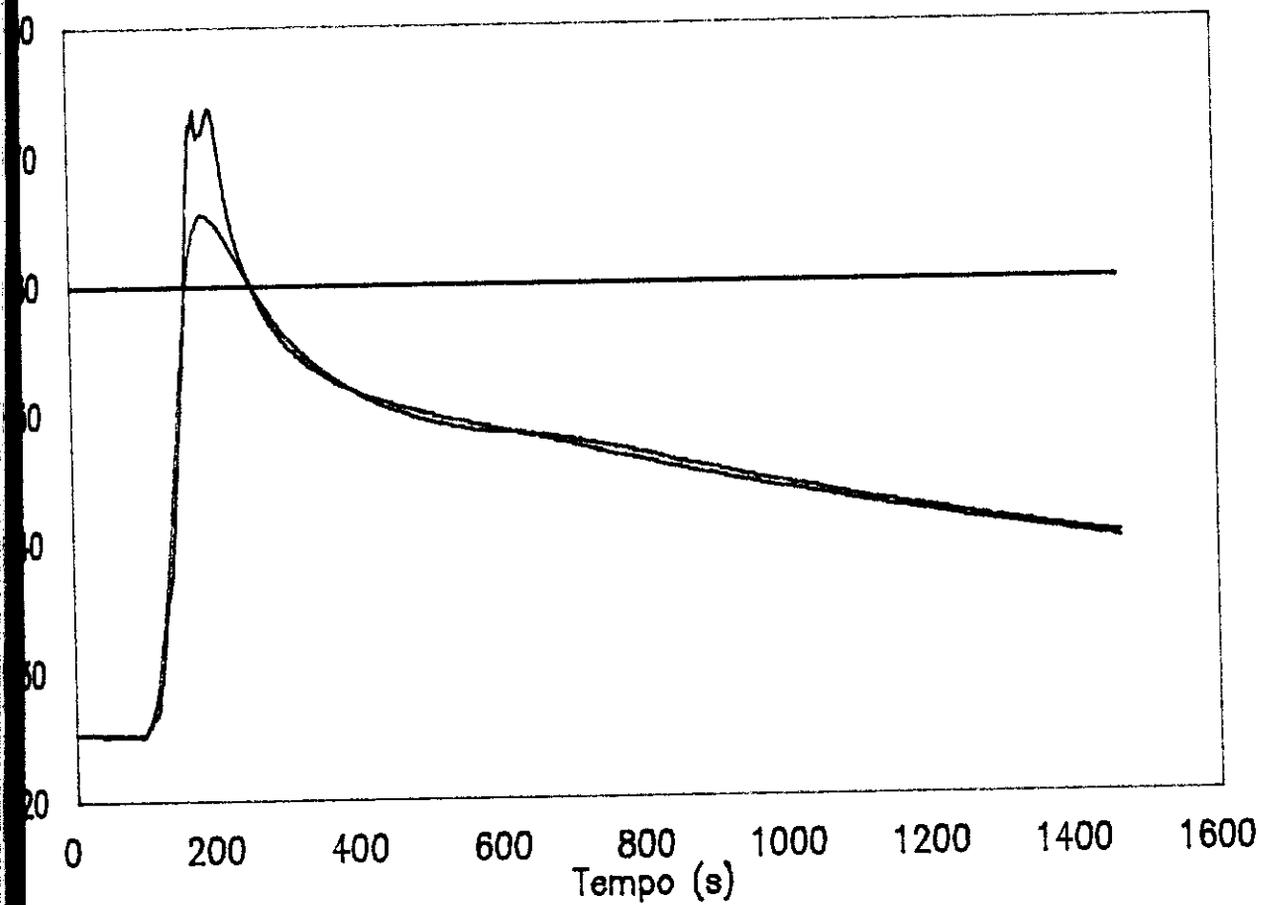


Figura 18 - Dados de temperatura do câmbio observados para a espécie *Eremanthus glomerulatus* durante uma queimada em Cerrado denso, em 16/09/92, medidos em lados opostos do tronco, com espessuras de casca de 4,5mm (linha vermelha) e 5,4mm (linha verde).

Tabela 3- Temperaturas do câmbio medidas nas queimadas e calculadas com o modelo

Espessura da casca (mm)	Temperatura do câmbio nas queimadas(°C)	Temperatura do câmbio calculada com o modelo (°C)
1,6	75	68
7,7	38	34
7,9	37	32
3,0	53	43
3,8	112	110
3,1	125	129
6,6	63	60
7,0	64	60
9,6	44	33
11,3	47	52
4,5	75	89
5,4	65	74
20,0	45	52
20,0	38	38
6,0	100	101
6,0	77	82

Erro padrão da estimativa = 6,7684

Regressão:

a = 1,0633

b = - 4,2499

r = 0,9471

E. P. de r = 0,2581

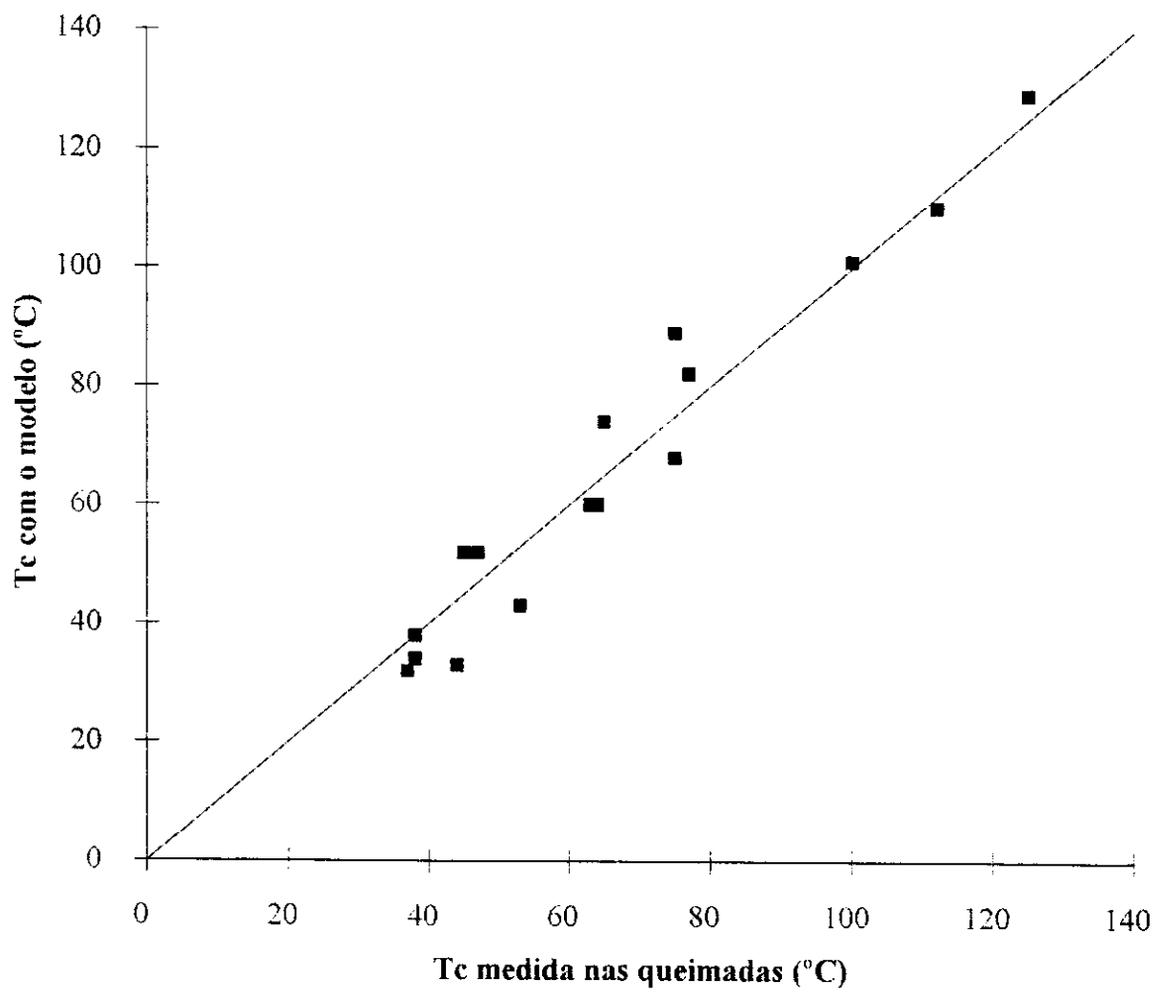


Figura 19 - Comparação dos valores de temperatura do câmbio, observados nas queimadas, com os valores calculados pelo modelo

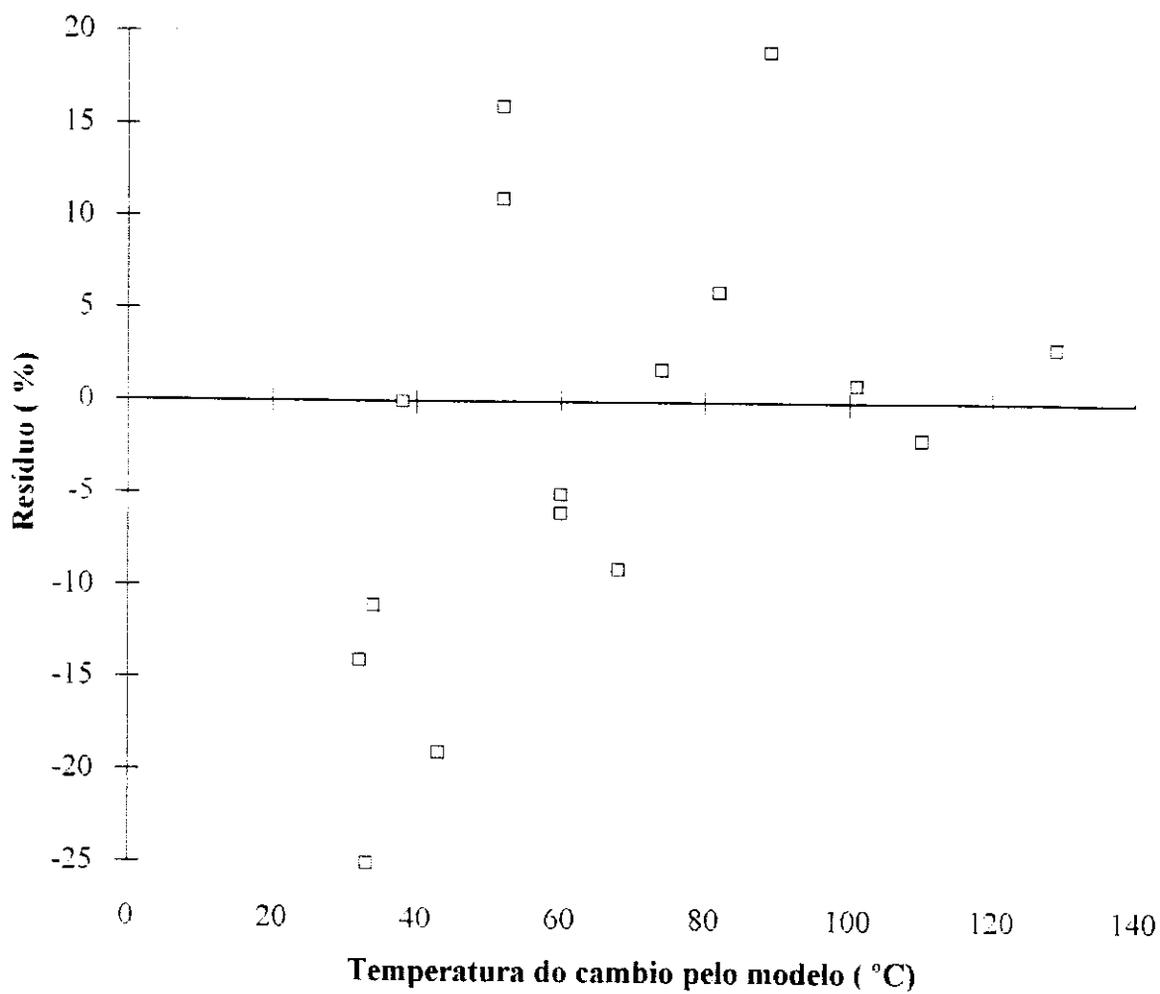


Figura 20 - Diferenças, em percentual, das temperaturas do câmbio observadas nas queimadas e as calculadas pelo modelo

Os resultados desses parâmetros analisados podem demonstrar, mesmo de forma sucinta, que há uma grande diversificação de tipos de cascas nas espécies do Cerrado, como pode ser constatado nas diferentes taxas de aumento de temperaturas observadas para as diferentes espécies e no teor de água, que parece ser diverso de uma espécie para outra.

Assim temos que as flutuações no teor de água da casca provavelmente variaram devido a características específicas, principalmente em decorrência das diferenças na proporção entre casca interna/externa, da morfologia externa e da idade do indivíduo, em conformidade com o encontrado por Hare (1965). O teor de água pode variar em um mesmo indivíduo ao longo do tronco e galhos, com a variação da espessura e das proporções entre casca interna e externa (Spalt & Reifsnyder, 1961). A própria morfologia externa pode variar em algumas espécies em função do diâmetro do tronco e da idade do indivíduo.

A perda de folhas também pode causar diminuição no teor de água por aumentar a incidência de radiação solar na casca (Spalt & Reifsnyder, 1961).

Quanto a variação estacional do teor de água das cascas, observou-se que não houve grandes flutuações e que estas acompanham as flutuações sazonais na umidade relativa do ar, em consonância com o que consta na literatura (Spalt & Reifsnyder, 1961; Reifsnyder *et al.*, 1967; Vines, 1968). Essa característica da casca é reconhecida como devida a baixa difusividade da água na casca, principalmente por causa da camada impermeável de ritidoma (Reifsnyder *et al.*, 1967).

A presença da água na casca tem influências na sua condutividade térmica, pois a água é um bom condutor térmico mas, ao que parece, o aumento da temperatura do câmbio está mais relacionada a difusividade térmica da casca, tendo em vista que esta depende da própria condutividade térmica, da densidade e do calor específico da casca

Tabela 4- Teor de água das cascas das espécies de Leguminosas para as estações seca e chuvosa

Espécie	Espessura (mm)	% de água (seca)	% de água (chuvosa)
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	5	113	111
<i>S. adstringens</i>	14	98	88
<i>Bowdichia virgilioides</i>	3	140	200
<i>B. virgilioides</i>	10	151	137
<i>B. virgilioides</i>	27	96	90
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	10	119	125
<i>S. paniculatum</i>	20	64	67
<i>Dalbergia miscolobium</i>	6	67	73
<i>D. miscolobium</i>	24	74	84
<i>Machaerium opacum</i>	3	125	183
<i>M. opacum</i>	20	78	87
<i>M. opacum</i>	41	41	54
<i>Dimorphandra mollis</i>	5	67	121
<i>D. mollis</i>	28	64	64
<i>Pterodon pubescens</i>	7	116	181
<i>P. pubescens</i>	13	101	104
<i>P. pubescens</i>	16	74	93
<i>Acosmium dasycarpum</i>	10	125	150
<i>A. dasycarpum</i>	25	117	117
<i>A. dasycarpum</i>	27	59	55
<i>Enterolobium gumiferum</i>	17	77	99
<i>E. gumiferum</i>	31	65	73
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	5	64	92
<i>H. stigonocarpa</i>	8	61	81
<i>H. stigonocarpa</i>	9	63	59

Tabela 5- Morfologia externa das cascas das espécies estudadas elaborada por Pereira & Guedes (informações não publicadas).

<i>Espécie</i>	Morfologia externa	Esfoliação
<i>Acosmium dasycarpum</i>	Profundamente sulcada, com placas de formato retangular.	Não observada
<i>Bowdichya virgilioides</i>	Sulcada, com placas de formato irregular	Em placas rijas
<i>Copaifera reticulata</i>	Levemente sulcada, formando placas de tamanho irregular	Em placas papiráceas
<i>Dalbergia miscolobium</i>	Profundamente sulcada, apresentando camadas bem distintas de periderme superpostas	Em placas rijas
<i>Dimorphandra mollis</i>	Levemente sulcada, com placas de formato irregular	Em placas papiráceas bastantes quebradiças
<i>Enterolobium gumiferum</i>	Profundamente sulcados, com placas de formato irregular	não observada
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	Sulcada, com placas de formato irregular	Em placas rijas
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	Lisa apresentando fissuras na base dos troncos mais grossos	Eventualmente em placas de formato irregular
<i>Blepharocalix salicifolius</i>	Levemente fissurada, com placas em geral retangulares, formando aspecto reticulado	Em placas retangulares
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	Lisa, com rugas transversais	não apresenta

Tabela 5 (cont.)- Morfologia externa das cascas das espécies estudadas elaborada por Pereira & Guedes (informações não publicadas).

Espécie	Morfologia externa	Esfoliação
<i>Dydimopanax macrocarpum</i>	Levemente fissurada, com placas de formato irregular	Eventualmente soltando-se em placas de formato irregular
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	Profundamente sulcada, com placas retangulares	não observada
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	Sulcada	Soltando-se em placas quase retangulares
<i>Miconia ferruginata</i>	Medianamente fissurada	Em placas quase retangulares pouco resistentes
<i>Rapanea guianensis</i>	Lisa com rugas transversais	não observada
<i>Roupala montana</i>	Levemente sulcada com placas retangulares	Em placas pouco resistentes
<i>Pterodon pubescens</i>	Quase lisa	Eventualmente soltando-se em placas arredondadas
<i>Machaerium opacum</i>	Profundamente sulcada, com placas retangulares	não observada
<i>Styrax ferruginea</i>	Não profundamente fissurada, com placas em geral fissuradas	Em placas retangulares pouco resistentes

(Vines, 1968). Assim temos que cascas úmidas conduzem melhor o calor mas apresentam um calor específico maior (o que baixa a difusividade), além de demandar uma maior quantidade de calor no processo de evaporação da água. Enquanto que cascas mais secas compensam a baixa condutividade com um baixo calor específico. O resultado final é uma pequena interferência de na difusividade térmica, que não apresenta grandes variações, no aumento da temperatura do câmbio.

Martin (1963), encontrou para espécies da floresta temperada, valores de difusividade térmica em torno de $1,3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$. São encontrados ainda valores variando de $1,0$ a $1,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ (Vines, 1968). Martin (1963) encontrou essa pequena variação de difusividade térmica de cascas independente da variação de valores de teor de água e morfologia.

Uhl & Kauffman (1990) também encontraram uma pequena variação na densidade de cascas de 15 espécies de de árvores estudadas na Floresta Amazônica, sendo essas diferenças insignificantes para explicar a variação do fluxo de calor através da casca.

As conclusões de Martin (1963) são contestadas por Reifsnnyder *et al.* (1967), no que tange a variação da difusividade térmica entre cascas diferentes, pois estes obtiveram uma maior variação desta com o teor de água, justamente porque calcularam a capacidade térmica de forma diferente da calculada por Martin(1963). Entretanto esses autores concluem que os valores de difusividade e de teor de água não variam muito durante o ano e entre as espécies.

A despeito do que tem sido afirmado por alguns autores, de que a resistência térmica da casca depende da composição, densidade e teor de água (Hare, 1961; Hare, 1965; Spalt & Reifsnnyder, 1961; Kayll, 1963; C. de Ronde, 1982), pode-se afirmar que a espessura da casca é a principal variável responsável pela resistência da casca a

altas temperaturas (Martin, 1963; Reifsnyder *et al.*, 1967; Vines, 1968; Gill, 1981; Uhl & Kauffman, 1990), pois esta exerce grande influencia na temperatura a que chega o câmbio e na forma da curva tempo-temperatura e, principalmente, é o parâmetro de maior amplitude de variação, em um indivíduo, em uma população e entre espécies.

Percentual de classes de espessuras de casca na comunidade de um Cerrado denso e a proteção contra o fogo

No Anexo 1 estão apresentados os dados referentes ao percentual de categorias de espessuras de casca na comunidade de lenhosas de um Cerrado denso localizado na RECOR-IBGE, extraído do trabalho de Pereira *et al.* (1993), onde pode ser observado o percentual de indivíduos para cada categoria de espessura de casca, para todas as espécies, em indivíduos com diâmetro acima de 5 cm a 30 cm de altura e para cada espécie das que apresentaram mais de 20 indivíduos no levantamento em questão. Essas categorias de espessuras de casca foram determinadas de acordo com Roth (1981), cuja definição também consta no Anexo 1. Os resultados são apresentados de forma a se poder determinar a espessura abaixo da qual pode haver danos no câmbio, para queimadas de 0,7 minutos de duração e, conseqüentemente, o percentual de indivíduos que poderiam sofrer esses danos em decorrência de cada tipo de queimada, podendo-se ainda destacar as espécies que seriam mais ou menos afetadas no número de indivíduos, sendo mais ou menos resistentes.

Assim temos que as espécies *Symplocos lanceolata*, *Vochysia thyrsoidea*, *Caryocar brasiliense* e *Guapira noxia* podem ser consideradas mais resistentes do que as demais por apresentarem baixa proporção de indivíduos que sofrem danos em queimadas, principalmente as duas primeiras.

A espécie *Dalbergia miscolobium*, que pode ser afetada, no máximo, em cerca de 52% dos indivíduos, em queimadas muito intensas, possui a casca reconhecidamente mais espessa do que outras espécies do gênero, apresentando várias faixas tangenciais de fibroesclereídeos e inúmeras camadas peridérmicas (Teixeira *et al.*, 1978), o que confere a casca aspecto e consistência fibrosa e boa resistência térmica.

Por outro lado, há as espécies que apresentam uma alta proporção de indivíduos que seriam danificados, principalmente nas queimadas mais intensas, que são: *Guapira graciliflora*, *Qualea multiflora*, *Didymopanax macrocarpum*, *Sclerolobium paniculatum*, *Blepharocalix salicifolius*, *Rapanea guianensis*, *Byrsonoma crassa*, *Emmotum nitens*, *Piptocarpha rotundifolia*, *Palicourea rigida* e *Davilla elliptica*. Dessas espécies as duas primeiras poderiam chegar a ser extintas de locais com queimadas de temperaturas acima de 700 °C, sendo que as demais sofreriam danos em mais de 70% da população.

Para queimadas com a duração de 0,7 minutos (média de duração das queimadas realizadas no Cerrado da RECOR-IBGE), observa-se que cerca de 20% dos indivíduos de um Cerrado denso podem sofrer danos no câmbio, para uma queimada de temperatura máxima de 380 °C. Para queimadas de 780 °C os danos seriam em 59% da comunidade.

Desta forma pode-se destacar que apenas os incêndios que promovem altas temperaturas podem causar danos significativos na vegetação (em 57% da comunidade), por causar morte do câmbio, enquanto que fogos de baixa e média temperatura causam poucos danos (0,1 e 2,7% do total de indivíduos).

Há que se ressaltar que esses danos não são homogêneos em todo o tronco, podendo não implicar em morte do indivíduo. Nas queimadas controladas realizadas na RECOR, observou-se que há uma diferença entre as temperaturas da casca

e do câmbio nos pontos do tronco situados a barlavento e a sotavento, durante a passagem do fogo (Figuras 11 a 18), de acordo com o que foi constatado por Wright & Bailey (1982) e por Wyant *et al.* (1986).

Com relação ao percentual de indivíduos afetados pelas queimadas, que apresentam espessura de casca abaixo da qual há danos no câmbio, observa-se que apenas os incêndios que alcançam altas temperaturas podem causar danos significativos na comunidade, podendo chegar até 100% em algumas espécies, essa situação ocorreria em ocasiões onde houvesse uma grande quantidade de combustível com teor de umidade baixa o suficiente para queimar.

Os efeitos no número de indivíduos afetados são diferenciados para cada espécie, podendo-se observar também aqui, uma pressão seletiva diferenciada sobre cada uma. Assim observa-se que algumas espécies apresentam um percentual de indivíduos danificados pela queimada muito baixo em relação a outras que, para as queimadas mais intensas, apresentam dano potencial em quase toda a população, essas espécies poderiam chegar a ser extintas em ambientes sujeitos a queimadas, favorecendo assim as espécies que têm dano mínimo. Portanto duas espécies poderiam ser extintas de ambientes que sofrem incêndios de temperatura acima de 700 °C por 0,7 minutos são elas: *Guapira graciliflora* e *Qualea multiflora*. Entretanto essas conclusões devem ser observadas com cautela, tendo em vista que a resistência ao fogo não é o único fator que determina a ocorrência de espécies em locais queimados.

O modelo matemático elaborado por Uhl & Kauffman (1990), para incêndios de baixa intensidade, prevê danos no câmbio em cerca de 98% das árvores da Floresta Amazônica. Estes autores observaram que nove das quinze espécies estudadas poderiam ser extintas com incêndios na floresta, por sofrerem danos no câmbio. Neste trabalho observou-se que fogos intensos, de temperaturas em torno de 700 °C por 0,7

minutos, podem causar danos em 57% da comunidade de plantas lenhosas.

Discussão das hipóteses assumidas no modelo

As premissas constantes das hipóteses assumidas para a construção do modelo apresentam algumas limitações que devem ser discutidas.

Assim, na hipótese (ii), assumindo que a variação da temperatura do câmbio durante uma queimada depende exclusivamente da espessura da casca, deixou-se de considerar alguns fatores que parecem ser importantes para a difusão de calor através da casca, tais como a densidade da casca, seu teor de água e a sua inflamabilidade. Esses fatores definem as características específicas de cada tipo de casca, que, como foi constatado neste trabalho, parece ser bastante diverso de uma espécie para outra. Entretanto a espessura da casca, como é reconhecida na literatura por ser um parâmetro mais varável do que aqueles, tem maior influência na sua resistência térmica, conforme constatado nas pesquisas de Martin (1963), Reifsnyder *et al.* (1967), Vines (1968), Gill (1981) e Uhl & Kauffman (1990). Portanto, esta aproximação assumida está de acordo com os resultados desses estudos desenvolvidos anteriormente.

Na hipótese (iii), assumindo-se que a variação da temperatura do ar pode ser considerada como sendo um pulso triangular, foi definida uma situação média que teoricamente ocorre, mas, devido à complexidade dos fenômenos das queimadas, onde vários fatores interferem na taxa de queima do combustível e velocidade do fogo, há uma variação grande na forma desse pico de calor, já que a temperatura máxima da queimada varia muito. Em se tratando da temperatura na superfície da casca, fatores como a inflamabilidade da casca também têm grande influência na forma desse pico. Assim podemos observar nas Figuras 11 a 18 que, de uma maneira geral, apresenta um formato

triangular.

Na Figura 12 pode-se observar que nem sempre esse pico de calor tem formato triangular, principalmente nas queimadas de baixas temperaturas máximas, (100 °C ou menos) onde há uma queima lenta, com baixa temperatura que vai variando conforme a queima de determinadas moitas de combustível.

Na hipótese (v), assumiu-se que antes da passagem do fogo a temperatura do câmbio é igual a temperatura da superfície da casca, entretanto observa-se que isto não ocorre durante a maior parte do dia, pois a temperatura do câmbio acompanha a variação da temperatura da superfície da casca, só que de forma mais lenta, havendo sempre uma defasagem na resposta da temperatura do câmbio. Esta defasagem que é maior quanto mais espessa a casca. Quando a casca é irradiada com luz solar, a sua temperatura externa aumenta rapidamente e a do câmbio responde mais lentamente. O mesmo acontece quando a temperatura externa abaixa.

Como se trata da variação da temperatura ambiente durante o dia, não se observam variações bruscas de temperatura, o que faz com que essa diferença seja pequena, no máximo de 5 °C.

Manejo do fogo

Um aspecto de fundamental importância a ser considerado neste estudo é que alguns fatores ambientais parecem interferir de forma fundamental na ocorrência das espécies em áreas queimadas, determinando a sobrevivência de indivíduos e, conseqüentemente, a presença de espécies em ambientes propícios ao fogo. Assim temos que os fatores mais importantes são: o regime de queimadas, a dinâmica no acúmulo de

combustível e todos os fatores bióticos (como a herbivoria, por exemplo) e abióticos (precipitações, orvalho, etc.) que interferem nesses processos, bem como as estratégias dos vegetais em evitar ou escapar dos efeitos deletérios das altas temperaturas.

O regime de queimadas influencia a sobrevivência das espécies ao determinar os efeitos cumulativos do fogo, pois fogos repetidos, de diferentes intensidades, podem matar diferentes partes do câmbio de indivíduos adultos, todas as plântulas e a maioria dos indivíduos jovens, causando extermínio de determinadas espécies em locais sujeitos a fogos periódicos, em curtos espaços de tempo. Essas queimadas podem se apresentar sob intensidades diferentes em cada época em que ocorram, pois a produção de combustível parece mudar de ano para ano.

O fator referente à frequência de queimadas parece agir indiscriminadamente para todas as espécies se o seu regime tiver uma frequência de um a dois anos (Coutinho, 1990).

As formas de se evitar as altas temperaturas das queimadas, tais como a evitação no tempo ou no espaço (Frost, 1984), também fazem com que indivíduos de casca fina ou de baixa resistência térmica sobrevivam em ambientes propícios ao fogo. Essas espécies podem ocorrer em áreas que não queimam (úmidas ou rochosas) ou que queimam menos (Gill, 1968).

Alguns fatores intrínsecos às espécies também são importantes para a ocorrência ou não dessas espécies em áreas sujeitas a incêndios, que são o seu potencial de recobrimento e recolonização, seu potencial de não apresentarem-se em fases sensíveis de seu ciclo na época das queimadas e os hábitos geofíticos de suas plântulas, sementes e arbustos (Gill, 1981). As propriedades termofísicas das cascas estão incluídas neste grupo e podem ser consideradas de uma forma média para toda a comunidade, por dependerem basicamente da espessura da casca.

Assim, considerar apenas um desses fatores para se propor decisões a respeito do manejo do fogo é uma abordagem simplificada de um problema complexo, podendo até ser indicadas soluções inadequadas para o problema do fogo no Cerrado. Definir que as espécies são resistentes ou sensíveis ao fogo baseando-se apenas na sua permanência em áreas queimadas e não queimadas, é um erro, podendo estar abordando apenas o potencial e a forma de colonização das espécies.

Por seu turno, a consideração das propriedades de resistência térmica da casca só indicam que as espécies são mais ou menos resistentes mas não se elas ocorrerão ou não em ambientes sujeitos a incêndios.

Um exemplo que ilustra essa complexidade foi dado por Gill (1968) que, trabalhando com *Eucaliptus*, constatou que a espécie de casca mais resistente era considerada como sensível ao fogo, justamente por não ocorrer em áreas queimadas, enquanto que espécies de casca menos resistentes ocorriam nessas áreas. Observou-se que as espécies mais resistentes ocorriam em locais de maior acúmulo de combustível, sofrendo incêndios mais intensos, enquanto que as espécies reconhecidamente mais sensíveis ocorriam em locais de pouco acúmulo de combustível, sujeitos a incêndios mais brandos.

Toda essa diversidade de fatores parece explicar as diferenças entre resultados deste trabalho e os de Sambuichi (1991). Nossas conclusões em relação à susceptibilidade da espécie *Machaerium opacum* e à resistência de *Dalbergia miscolobium*, *Styrax ferruginea*, *Miconia ferruginata* e *Stryphnodendron adstringens*, referente a taxa de aumento de temperatura no câmbio, estão em desacordo com a sua ocorrência e ausência após o fogo. Isto nos faz concluir que tal discordância deve-se a influência dos fatores ambientais citados anteriormente, fazendo-se necessário, por isso, que sejam aprofundados estudos referentes a amostragem de combustível e temperatura

da queimada onde ocorram essas espécies, além de se considerar suas características de distribuição no ambiente.

No tocante ao percentual de indivíduos afetados pelas queimadas, que apontou espécies mais ou menos susceptíveis ao fogo, este trabalho também está em desacordo com as conclusões de Sambuiche (1990), pois as espécies que seriam mais afetadas pelas queimadas devido ao elevado percentual de indivíduos com cascas mais finas do que a necessária para proteger o câmbio da temperatura letal de 60 °C, não são as mesmas que se destacam por apresentar elevada diminuição da frequência na área queimada observada naquele estudo. Entretanto ambos os trabalhos demonstram haver variações dos efeitos do fogo de uma espécie para outra.

Outros trabalhos, como o de Trapnell (1959, em Sambuichi, 1991) e Hopkins (1965, em Sambuichi, 1991) também destacaram grandes variações no grau de tolerância ao fogo em Savanas africanas.

Por fim, faz-se mister considerar que, para fins de manejo do fogo no Cerrado, os resultados deste trabalho corroboram o que foi constatado por Vines (1968) e Uhl & Kauffman (1990), onde se observou que incêndios de baixa temperatura causam poucos danos na vegetação lenhosa arbórea, podendo ser aplicados para fins de manejo de áreas naturais de Cerrado, desde que o intervalo de queimada não seja muito curto, acima de 3 anos (Coutinho, 1990).

Queimadas promovidas em intervalos curtos de tempo, cerca de um ou dois anos, acabam favorecendo a ocorrência de espécies herbáceas anuais, tendendo a formar Campos Limpos. Para fins de manejo do fogo, esta estratégia está voltada para formações de pasto no Cerrado, conforme constatado por Ramos (1990).

Faz-se importante destacar que, na definição do intervalo entre as queimadas, deve-se considerar um período que permita o recrutamento de novos in-

divíduos, fazendo com que estes ultrapassem um tamanho e espessura de casca críticos, para não haver redução da diversidade e riqueza de espécies causadas pelo fogo.

CONCLUSÕES

- As espécies do Cerrado apresentam grande variação nas propriedades termofísicas de suas cascas, significando que o fogo é um fator de seleção de espécies no ambiente, uma vez que atua de forma diversificada sobre cada espécie.
- As características termofísicas da casca protegem o câmbio das altas temperaturas mas não asseguram que as espécies mais resistentes sobrevivam em ambientes sujeitos a queimadas.
- Fatores ambientais abióticos, como o regime de queima e a produção, umidade e distribuição de combustível, bem como os bióticos -características intrínsecas às espécies- por exemplo, as formas de se evitar ou escapar do fogo e o potencial de recolonização de uma área queimada, são variáveis importantes na determinação da ocorrência ou não de espécies em áreas sujeitas a queimadas.
- Apenas as queimadas intensas são capazes de causar danos mais significativos na comunidade lenhosa do Cerrado, podendo, potencialmente, causar extinção local de espécies mais sensíveis ao fogo.
- As queimadas controladas de baixa intensidade, com regime de queima não muito curto, parecem não causar danos significativos em termos de morte de indivíduos e extinção local de espécies, se considerarmos apenas a resistência térmica da casca

- Pelos resultados obtidos podemos concluir que o modelo elaborado neste trabalho é válido e perfeitamente aplicável para a realização de trabalhos de manejo da vegetação lenhosa do Cerrado, tendo, como limitação, a previsão de valores subestimados quando se refere a queimadas de baixa intensidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLGREEN, C.E. Effects of fires on temperate forests: North Central United States. In: KOZLOWISK, T.T.; AHLGREEN, C.E. (eds.). Fires and ecosystems. New York: Academic Press, 1974. p.194-223.
- BATMANIAN, G.J. Efeitos do fogo sobre a produção primária e a acumulação de nutrientes do estrato rasteiro de um Cerrado. Brasília: Universidade de Brasília, 1983. Tese de Mestrado.
- BISWELL, H.H. Effects of fires on Chaparral. In: KOZLOWISK, T.T.; AHLGREEN, C.E. (eds.). Fire and ecosystems. New York: Academic Press, 1974. p.320-364.
- BOOTH, W.L. Monitoring the fate of forests from space. Science, v.243, p.1428-1429, 1989.
- BYRAM, G.M. Some basic thermal processes controlling the effects of fire on living vegetation. USDA Forest Service Southeast Forest Expt Sta. Res. Note, n.114, 2 p., 1958.
- CESAR, H.L. Efeito da queima e corte sobre a vegetação de um campo sujo na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal. Brasília: Universidade de Brasília, 1980. Tese de Mestrado.

- CHANG, Y. Bark structure of North American conifers. U. S. D. A. Technical Bulletin, n1095, 86 p., 1954.
- COUTINHO, L.M. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado. I A temperatura do solo durante as queimadas. Revista Brasileira de Botânica, v.1, p.93-97. 1978.
- COUTINHO, L.M. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado III. A precipitação atmosférica de nutrientes minerais. Revista Brasileira de Botânica, v.2, p.97-101, 1979.
- COUTINHO, L.M. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado: nota sobre a ocorrência e datação de carvões vegetais encontrados no interior do solo em Emas, Pirassununga, SP. Revista Brasileira de Botânica, v.4, p.115-117, 1981.
- COUTINHO, L.M. Ecological effects of fire in Brazilian Cerrado. In: HUNTLEY, B.J.; WALKER, B.H. (eds.). Ecological effects of tropical savannas. Berlin: Springer-Verlag, 1982. p.273-291.
- COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of Brazilian Cerrado. In: GOLDAMER, G.J. (ed.). Fire in the tropical biota. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p.78-105.
- DAVIS, K.P. Forest fire: control and use. New York: McGraw-Hill, 1959.
- DAUBENMIRE, R.F. Plants and environment. New York: John Wiley & Sons, 1959. 422 p.

- EDWARDS, D. Fire regimes in the biomes of South Africa. In: BOOYSEY, P.V.; TAINTON, N.M. (eds.). Ecological effects of fire in South African ecosystems. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p. 19-51.
- EITEN, G. Formas fisionomicas do Cerrado. Revista Brasileira de Botanica, v.2, p.139-148, 1979.
- EITEN, G. Vegetation of Brasilia - Brazil. Phytocoenologia, v.12, n.2/3, p.271-192, 1984.
- EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M.N. (org.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília: Ed. UnB/SEMATEC, 1990. p.9-65.
- ESAU, K. Anatomy of seed plants. 2 ed. New York: J.Wiley & Sons, 1977.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Avaliação da fertilidade dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1980. 11p. (EMBRAPA- SNLCS. Boletim Técnico, 74).
- EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1987. 455p. (EMBRAPA- SNLCS. Boletim Técnico 53).

FILGUEIRAS, T.S. O fogo como agente ecológico. Brasil Florestal, v.11, n.46, p.17-20, 1981

NATIONAL FIRE EFFECTS WORKSHOP, 1978, Denver, Colorado. Effects of fire on soil: a state-of-knowledge review. Washington: USDA- Forest Service, 1979. 34p. (USDA-Forest Service. General Technical Report wo-7).

FROST, P.G.H. The response and survive of organisms in fire-prone environment. In: BOOYSEN, P.V.; TANTON, N.M. (eds.). Ecological effects of fire in South African Ecosystems. Berlim: Springer-Verlag, 1984. p.273-309.

FROST, P.G.H.; ROBERTSON, F. The ecological effects of fires in savannas. In: WALKER, B.H. (ed.). Determinants of tropical savannas. 1987.p.93-140. (IUBS Monograph Series, 3).

FREEZAILLAIH, B.C.Y. ¿Quales son las posibilidades futuras de las especies arboreas tropicales poco conocidas? Unasyva, v.36, n.145, p.3-16, 1984.

FRITSCHEN, L.J. and GAY, L.W. Environmental instrumentation. Berlim: Springer-Verlag. 1979.

GILL, A.M. Adaptative responses of Australean vascular plant species to fires. In: Fire and the Australean biota. Camberra: Australean Academy of Science, p. 243-271.

- GILL, A.M.; ASHTON, D.H. The role of bark type in relative tolerance to fire of the three Central Victorian Eucalypts. Australian Journal of botany, v.16, p.491-498, 1968.
- GILLON, D. The fire problem in tropical savannas. In: BOULIERE, F. (ed.). Ecosystems of the world: tropical savannas. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing, 1983. p.617-641.
- GOEDERT, W.J. Uso e manejo dos recursos naturais do Cerrado: solo e clima. In: Simposio sobre o Cerrado, 5., 1979, Brasília, DF. Cerrado: uso e manejo. Brasília: Editeria, 1980. p.473-498.
- GOODLAND, R. Oligotrofismo e alumínio no Cerrado. In: Simposio sobre o Cerrado, 3, 1971, São Paulo: EDUSP/Edgard Blucher, 1971. p.44-60.
- GOODLAND, R.; FERRI, M.G. Ecologia do Cerrado. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979. 192p.
- GOLDSTEIN, G.; SARMIENTO, G. Water relations of tree and grasses and their consequences for the structure of savanna vegetation. In: WALKER, B.H. (ED.). Determinants of tropical savannas. IUBS Monograph Series n.3 , p. 13-38.
- HARE, R.C. Heat effects on living plants. USDA Forest Service. Southern Forest Expt. Sta. Occ. paper , n.183, 32p., 1961.

- HARE, R.C. Contribution of bark to fire resistance of Southern trees. Journal of Forestry, v.65, p.248-251, 1965.
- KAYLL, A.J. A technique for studying the fire tolerance of living tree trunks. Ottawa: Department of Forestry, 1963 22p. (Department of Forestry Pulic., Canada, 1012).
- KIRKBRIDE Jr., J.H. Legumes of the Cerrado. Revista Agropecuária Brasileira, v.9, p.23-46, 1984.
- KRUGER, F.J. Vegetation responses to fire regime. In: BOOYSEN, P.V.; TANTON, N.M. (eds.). Ecological effects of fire in South African ecosystem. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
- MARTIN, R.E. A basic approach to fire injury of tree stems. In: TALL TIMBERS FIRE ECOLOGY CONFERENCE, 2, 1963, Florida. Proceedings. Talahassee, Florida: Tall Timbers Research Station, 1963. p.151-162.
- MEIRELLES, M.L. Produção primária e suas relações com fatores ambientais em pastagem artificial e Campo Sujo de Cerrado, queimado e natural. Brasília. Universidade de Brasília. Tese de Mestrado. 1981.
- MIRANDA, A.C. *et al.* Soil and air temperatures during prescribed Cerrado fires in Central Brasil. J. Tropical Ecology. no prelo. 1993.

PYNE, S.J. Fire in America. A cultural history of wildland and rural fires. Princeton University Press. Princeton. 1982. 654 p.

PYNE, S.J. Burning bush: A fire history of Austrália. Henry Holt and Company inc. New York. 1991. 520 p.

PEREIRA, B.A.S. *et al.* Reserva ecológica do IBGE (Brasília - DF): aspectos históricos e fisiográficos. Boletim FBCN, v 24, p.30-43, 1989.

PEREIRA, B.A.S.; GUEDES, D.M.; VIANNA Jr. Correlação entre espessura da casca e diâmetro do tronco nas espécies do Cerrado. Congresso Brasileiro de Botânica, São Luiz, MA, 1993. 1993.

PINTO, M.N. Residuais de aplainamento cenozóico no Distrito Federal. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 12, 1985, Brasília DF. Anais. Brasília, CODEPLAN, 1985. Livro 1, p.187-202.

RAMOS, A.E. O efeito da queima sobre a vegetação lenhosa do Cerrado. Brasília: Universidade de Brasília, 1990. Tese de Mestrado.

RAMOS, A.E.; ROSA, C.M.M. Impacto das queimadas. In: DIAS, B.F.S. (coord.). Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis. Brasília: IBAMA/FUNATURA. 1992. 87 p.

- REIFSNYDER, W.E.; HERRINGTON, L.P.; SPALT, K.W. Thermophysical properties of bark of shortleaf, longleaf and redpine. New Haven: Yale University, 1967. 41p.(Yale University- School of Forest. Bulletin, 70
- RONDE, C. de. The resistance of *Pinus* species to fire damage. South African Journal, n.112, p.22-27, 1982.
- ROSA, C.M.M. Recuperação pós fogo das espécies do estrato rasteiro de um Campo Sujo de Cerrado. Brasília: Universidade de Brasília, 1990. Tese de Mestrado.
- ROTH, I. Structural patters of tropical barks. Handbuch der Pflanzenanatomie. IX/3. Borntraeger, Berlim, Stuttgart.
- RYAN, K.C.; PETERSON, D.L.; REINHART, E.D. Modeling long-term fire-caused mortality of Douglas-Fir. Forest Science, v.34, n.1, p.190-199, 1988.
- SAMBUICHI, R. Efeitos de longo prazo do fogo periódico sobre a fitossociologia da camada lenhosa de um Cerrado em Brasília, DF. Brasília: Universidade de Brasília, Tese de mestrado. 1991.
- SAN JOSÉ, J.J.; FARIÑAS, M.R. Changes in tree density and species composition in a protected Trachypogon Savanna, Venezuela. Ecology, v.64, n.3, p.447-453, 1983.

- SCOTT, J.D. An historical review of research on fire in South Africa. In: BOOYSEN, P.V.; TANTON, N.M. (eds.). Ecological effects of fire in South African ecosystems. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.53-65.
- SOUNIS, E. Bioestatística. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 230 p.
- SPALT, K.W.; REIFSNYDER, W.E. Bark characteristics and fire resistance: a literature survey. USDA Forest Service. Southern Forest Expt. Sta. Occas. Paper. 1961.
- TEIXEIRA, L.L.; BURGER, L.M.; KARSTEDT, P. Estudos microscópicos do xilema e da casca do gênero *Dalbergia* baseados em quatro espécies do Sul do Brasil. Arq. Jard. Bot. RJ, v.23, p.115-133, 1978.
- TROCKENBRODT, M. Survey and discussion of the terminology used in bark anatomy. IAWA Bulletin, v.11, n.2, p. 141-166, 1990.
- TROLLOPE, W.S.W. The ecological effects of fires in South African savannas. In: HUNTLEY, B.J.; WALKER, B.H. (eds.). Ecology of tropical savannas. Berlin: Springer-Verlag, 1982. pp.292-306.
- TROLLOPE, W.S.W. Fire behaviour. In: BOOYSEN, P.V.; TANTON, N.M. (eds.). Ecological effects of fire in South African ecosystems. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.199-217.

- TUNSTALL, B.R.; WALKER, J.; GILL, A.M. Temperature distribution around synthetic trees during grass fires. Forest Science, v.22,n.3, p 269-276, 1976.
- UHL, C.; KAUFFMAN, J.B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. Ecology, v.7, n.2, p.437-449, 1990.
- UHL, C.; KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, .Fire in the Venezuelan Amazon 2: environmental conditions necessary to forest fires in the evergreen rainforest of Venezuela. Oikos, v.53, p.176-184, 1988.
- UHL, C.; KAUFFMAN, J.B.; SILVA, E.D. Os caminhos do fogo na Amazônia. Ciencia Hoje, v.11, n.65, p.25-32, 1990.
- VINES, R.G. Heat transfer through bark, and the resistance of trees to fire. Aust. J. Bot., v.16, p.499-514, 1968.
- VOGL, R.J. Effects of fires on grasslands. In: KOZLOWSK, T.T.; AHLGREEN, C.E. (eds.). Fire and ecosystems. New York: Academic Press, 1974. p.139-193.
- WARMING, E. Lagoa Santa, contribuição para a geografia phytobiológica. Belo Horizonte: Itatiaia / São Paulo: Edusp, 1973. 279p.
- WHITMORE, H.A. Why do trees have different sorts of bark ? New Scientist, v. 312, p.330-331, 1962.

WRIGHT, H.A. A method to determine heat caused mortality in bunchgrass. Ecology, v 51, p.582-587, 1970.

WRIGHT, H.A.; BAILEY, A.W. Fire ecology - United States and Southern Canada. New York: John Willey & Sons, 1982. 501p.

WYANT, J.G.; OMI, P.N.; LAVEN, R.D. Fire induced tree mortality in a Colorado Ponderosa Pine / Douglas Fir stand. Forest Science, v.32, n.1, p 49-59, 1986.

Anexo 1- Percentual de indivíduos com cada categoria de espessura de casca, de acordo com a classificação de Roth (1981). Extraído de Pereira *et. al.* (1993).

1-Classificação de Roth (1981) para espessuras de cascas:

Categoria	Definição	Espessura
1	Muito fina	1 a 3 mm
2	Fina	3,1 a 4,9 mm
3	Média	5 a 10 mm
4	Espessa	10,1 a 15 mm
5	Muito espessa	15,1 a 20 mm
6	Extraordinariamente espessa	20,1 a 25 mm
7	Extremamente espessa	acima de 25,1 mm

2- Espessuras abaixo das quais o cambio alcança 60 °C, para cada incêndio com 0,7 minutos de duração, calculadas pelo modelo matemático deste trabalho

Categorias	Temperatura do fogo (°C)	Espessura crítica (mm)
1	180	3
1, 2 e 3	380	6
1, 2, 3, 4 e 5	780	16

3- Todas as espécies n=2637

3.1-Classes de espessura

Espessura da casca(mm)	% de indivíduos
1,0 a 3,0	0,1
3,1 a 4,9	0,4
5,0 a 10,0	18,8
10,1 a 15,0	39,9
15,1 a 20,0	28,2
20,1 a 25,0	11,1
acima de 25,1	5,8

3.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo(°C)	% de indivíduos
180	0,1
380	2,7
780	57,9

4- *Didymopanax macrocarpum* n= 236

4.1-Classes de espessuras

Espessura (mm)	% de indivíduos
3,0 a 4,9	1,3
5,0 a 10,0	45,9
10,1 a 15,0	32,9
15,1 a 20,0	16,0
20,1 a 25	3,4

4.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	9,7
780	73,8

5- *Eremanthus glomerulatus* n= 250

5.1- classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
5,0 a 10,0	8,0
10,1 a 15,0	34,0
15,1 a 20,0	45,2
20,1 a 25,0	11,2
acima de 25	1,6

5.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	-----
780	53,6

6- *Ouratea hexasperma* n = 185

6.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
5,0 a 10,0	4,3
10,1 a 15,0	50,8
15,1 a 20,0	38,4
acima de 20,1	3,8

6.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	-----
780	65,9

7- *Guapira noxia* n= 150

7.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
10 a 15 mm	22,7
15,1 a 20,0	36,0
20,1 a 25,0	28,7
acima de 25,1	12,7

7.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	-----
780	28,6

8- *Sclerolobium paniculatum* n= 143

8.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
5,0 a 10,0	24,0
10,1 a 15,0	44,7
15,1 a 20,0	15,4
20,1 a 25,0	9,8
acima de 25,1	5,6

8.1- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	-----
780	72,7

9- *Roupala montana* n = 115

9.1- Classes de espessura

Espessura da casca(mm)	% de indivíduos
7,0 a 10,0	10,4
10,1 a 15,0	33,9
15,1 a 20,0	40,0
20,1 a 25,0	15,6
25,1 a 30,0	2,6

9.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	-----
780	52,1

10- *Rapanea guianensi* n = 115

10.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
6,0 a 10,0	16,2
10,1 a 15,0	63,2
15,1 a 20,0	20,6

10.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	1,0
480	80,8

11- *Vochysia thyrsoidea* n = 108

11.1- Classes de espessura

espessura da casca (mm)	% de indivíduos
8,0 a 10,0	2,7
10,1 a 15,0	9,3
15,1 a 20,0	38,0
20,1 a 25,0	35,2
acima de 25,1	12,2

11.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo	% de indivíduos
180	-----
380	-----
780	14,8

12- *Qualea parviflora* n = 86

12.1- Classes de espessura

Espessura (mm)	% de indivíduos
7,0 a 10,0	10,5
10,1 a 15,0	46,5
15,1 a 20,0	32,6
20,1 a 25,0	9,3
acima de 25,1	1,2

12.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	-----
480	66,2

13- *Caryocar brasiliense*

13.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
9,0	1,2
10,0 a 15,0	21,4
15,1 a 20,0	25,0
20,1 a 25,0	34,5
25,1 a 35,0	17,9

13.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	-----
780	22,6

14- *Dalbergia miscolobium* n = 74

14.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
7,0 a 10,0	12,2
10,1 a 15,0	37,8
15,1 a 20,0	33,8
20,1 a 25,0	9,5
25,1 a 35,0	6,8

14.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	-----
380	-----
780	52,1

15- *Blepharocalix salicifolius* n = 68

15.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
5,0 a 10,0	48,5
10,1 a 15,0	26,5
15,1 a 20,0	19,1
20,1 a 27,0	5,9

15.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	----
380	5,8
780	80,8

16- *Qualea grandiflora* n.= 65

16.1- Classes de espessura

espessura da casca (mm)	% de indivíduos
7,0 a 9,0	2,9
10,1 a 15,0	39,7
15,1 a 20,0	37,4
20,1 a 25,0	13,2
25,1 a 41,0	5,9

16.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	---
380	---
780	60

17- *Miconia ferruginata* n = 64

17.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
7,0 a 10,0	6,2
10,1 a 15,0	26,6
15,1 a 20,0	32,8
20,1 a 25,0	15,6
25,1 a 35,0	18,7

17.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	---
380	---
780	39,0

18- *Styrax ferrugineus* n = 64

18.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
8,0 a 10,0	3,1
10,1 a 15,0	35,9
15,1 a 20,0	45,3
20,1 a 25,0	12,5
25,1 a 30,0	3,1

18.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduo
180	---
380	---
780	50,0

19- *Byrsonima crassa* n = 60

19.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de individuo
6,0 a 10,0	46,7
10,1 a 15,0	45,0
15,1 a 17,0	6,6
acima de 20,1	1,7

19.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de individuos
180	----
380	----
780	95,0

20- *Rourea inducta* n = 58

20.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de individuos
5,0 a 10,0	15,5
10,1 a 15,0	39,6
15,1 a 20,0	39,7
20,1 a 25,0	3,4
25,1 a 28,0	1,7

20.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de individuos
180	----
380	1,0
780	63,7

21- *Emmotum nitens* n = 57

21.1 Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
5,0 a 10,0	59,6
10,1 a 15,0	14,0
15,1 a 20,0	10,5
20,1 a 25,0	7,0
25,1 a 40,0	8,8

21.2-Danos no cambio

Temperatura do fogo	% de indivíduos
180	---
380	15,7
780	73,6

22- *Guapira graciliflora* n = 52

22.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
1,0 a 3,0	3,8
3,1 a 4,9	9,6
5,0 a 10,0	19,2
10,1 a 15,0	67,3

22- Danos no cambio

Temperatura do fogo	% de indivíduos
180	3,8
380	40,3
780	100,0

23- *Aspidosperma tomentosum* n = 51

23.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
5,0 a 10,0	13,7
10,1 a 15,0	60,8
15,1 a 20,0	17,6
20,1 a 25,0	3,9
26,0	3,9

23.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo	% de indivíduos
180	----
380	----
780	76,4

24- *Aspidosperma macrocarpom* n = 45

24.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
8,0 a 10,0	6,7
10,1 a 15,0	26,7
15,1 a 20,0	37,8
20,1 a 25,0	13,3
25,0 a 44,0	15,6

24.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo	% de indivíduos
180	----
380	----
780	44,4

25- *Palicourea rigida*

25.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
9,0 a 10,0	5,0
10,1 a 15,0	37,5
15,1 a 20,0	45,0
20,1 a 25,0	10,0
27,0	2,5

25.2 Danos no cambio

Temperatura do fogo	% de indivíduos
180	----
380	5,0
780	87,0

26- *Piptocarpha rotundifolia* n = 35

26.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
7,0 a 10,0	40,0
10,1 a 15,0	42,9
15,1 a 20,0	14,3
22,0	2,9

26.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo	% de indivíduos
180	----
380	---
780	85,7

27- *Symplocos lanceolata* n = 31

27.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
9,0 a 10,0	6,4
10,1 a 15,0	6,4
15,1 a 20,0	25,8
20,1 a 25,0	29,0
25,1 a 50,0	38,7

27.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	----
380	----
780	12,9

28- *Davilla elliptica* n = 22

28.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
4,0 a 10,0	9,1
10,1 a 15,0	63,6
15,1 a 20,0	27,3

28.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	----
380	4,5
780	77,2

29- *Lafoensia pacari* n = 22

29.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
8,0 a 10,0	9,1
10,1 a 15,0	33,5
15,1 a 20,0	36,4
21,0 a 23,0	9,1
33,0	9,1

29.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	----
380	----
780	50,0

30- *Erythroxilum suberosum* n = 21

30.1- Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
13,0 a 15,0	42,8
15,1 a 20,0	42,6
20,0 a 21,0	4,8
27,0	4,8

30.2- Danos no cambio

Temperatura do fogo (°C)	% de indivíduos
180	----
380	----
780	42,8

31- *Qualea multiflora* n = 21

31.1 Classes de espessura

Espessura da casca (mm)	% de indivíduos
13,0 a 15,0	42,8
15,1 a 20,0	42,6
20,0 a 21,0	4,8
27,0	4,8