



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG

CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**SEQUESTRO FLORESTAL DE CARBONO E AVALIAÇÃO DE RESILIÊNCIA: O
CASO DO INCÊNDIO NO PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA EM 2010.**

DÉBORA TEOBALDO

BRASÍLIA – DF

DEZEMBRO / 2013

DÉBORA TEOBALDO

**SEQUESTRO FLORESTAL DE CARBONO E AVALIAÇÃO DE RESILIÊNCIA: O
CASO DO INCÊNDIO NO PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA EM 2010.**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção de grau de bacharel em Ciências Ambientais, sob orientação do professor Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista.

BRASÍLIA – DF

DEZEMBRO / 2013

TEOBALDO, Débora.

Sequestro florestal de carbono e avaliação de resiliência: o caso do incêndio no Parque Nacional de Brasília em 2010.

Orientação: Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista.

62 páginas.

Projeto final em ciências ambientais – Instituto de geociências – Universidade de Brasília.

Brasília – DF, 2013.

1. Biomassa -2. Severidade de queimada- 3. RdNBR - 4. Sequestro florestal de carbono - 5. CO₂flux - 6. Valoração - 7. Método custo reposição

**SEQUESTRO FLORESTAL DE CARBONO E AVALIAÇÃO DE RESILIÊNCIA: O
CASO DO INCÊNDIO NO PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA EM 2010.**

Débora Teobaldo

Prof. Orientador: Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

Brasília-DF, 13 de dezembro de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista (Orientador)

Instituto de Geociências da Universidade de Brasília

Prof. Dr. Pedro Henrique Zuchi da Conceição (Coorientador)

Instituto de Economia da Universidade de Brasília

Prof. Dr^a. Fernanda Vasconcelos de Almeida (Avaliador)

Instituto de Química da Universidade de Brasília

**Dedico esse trabalho aos meus pais, que
sempre me apoiaram.**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Teobaldo e Beth, pelo apoio desde a pré-escola até o futuro acadêmico, pela compreensão e paciência durante esse processo.

Ao meu namorado, Dyogo, pela compreensão, paciência e confiança.

Ao meu Irmão, Caio, que sempre me apoiou até mesmo durante a escolha do curso de graduação, e que sempre está preocupado com meu futuro.

A minha irmã, Isabela, pelo apoio e amizade.

A minha tia de consideração, Dirlene, pelos florais, pela paciência e de estar comigo sempre e torcendo por mim.

A minha prima, Lívia, pelas dicas e conselhos sobre a monografia e pela força durante esse processo.

Aos meus amigos pela compreensão da ausência e força durante esse processo.

Ao meu Orientador, Gustavo, pelo incentivo a continuar na carreira acadêmica, pelas conversas e conselhos, pelos trabalhos que realizamos juntos e pela amizade.

Aos queridos amigos do ProIC, Khalil e João Paulo, pela força e motivação durante esse processo.

“A vida é uma peça de teatro que não permite ensaios. Por isso, cante, chore, dance, ria e viva intensamente, antes que a cortina se feche e a peça termine sem aplausos.”

Charles Chaplin

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o grau de severidade da queimada e o sequestro de carbono perdido com a queimada ocorrida na Unidade de Conservação (UC) no Parque Nacional de Brasília – PARNA Brasília, no ano de 2010. Devido à grande área queimada no PARNA, houve o interesse de valorar o dano e o quanto a sociedade perdeu de benefício causado pela queimada. Para a determinação do grau de severidade, utilizaram-se índices de quantificação de biomassa antes e depois da queimada, como o índice de queimada por razão normalizada (NBR), o índice diferenciado de queimada por razão normalizada (dNBR) e o índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada (RdNBR). O RdNBR apresentou-se mais satisfatório em relação ao dNBR, pois levaram-se em consideração as queimadas nas formações arbóreas. O sequestro de carbono perdido pela queimada foi comparado antes, depois da queimada e na rebrota pelo índice CO_2 flux. A relação entre a severidade e o sequestro de carbono também foram feitos por meio das imagens de pré-fogo, pós-fogo e da rebrota e a comparação temporal do CO_2 flux. O método de valoração utilizado foi o método de custo reposição. Como resultados o trabalho comprovou a eficiência do índice RdNBR para medir o grau de severidade de queimadas. As relações espaciais dos transectos obtidos sobre as diferentes classes de severidade antes, após a queimada e na rebrota mostraram coerência. As regressões obtidas estiveram dentro do esperado, sendo baixa a relação antes da queimada, alta após, e menor na rebrota. Todas as relações obtidas foram inversas, mostrando que o sequestro é menor nas áreas de maior severidade, o que denota que a biomassa seca do estrato herbáceo, que tem a água como limitante, é a porção mais severamente afetada pela queimada. E em relação à valoração, observou-se que é mais viável economicamente deixar a vegetação se recuperar de forma natural. Novos estudos devem ser incentivados para melhorar a percepção sobre severidade de queimadas, o sequestro de carbono e a rebrota visando monitorar e gerenciar possíveis efeitos do fogo no cerrado e o quanto se perde em termo de benefícios sociais com seus danos.

Palavras-chave: Biomassa, severidade de queimada, RdNBR, sequestro florestal de carbono, CO_2 flux, valoração, método custo reposição.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cena de 6 de abril de 1989 do Landsat TM 5 do DF, destacando a UC, Parque Nacional de Brasília, investigada no presente estudo.....	36
Figura 2: Severidade das queimadas no PARNA Brasília para o ano de 2010 por meio do dNBR (a) e do RdNBR (b).....	42
Figura 3: Percentual de área queimada do PARNA Brasília no ano de 2010 para cada classe de severidade obtidas por meio do dNBR e do RdNBR.	42
Figura 4: Capacidade de rebrota no PARNA Brasília para o ano de 2010 por meio do dNBR (a) e do RdNBR (b).	43
Figura 5: Porcentagem da área rebrotada do PARNA Brasília no ano de 2010 para cada tipo de índice.....	44
Figura 6: Transectos das Unidades de Conservação do PARNA Brasília	45
Figura 7: Resultado do fatiamento do Sequestro de Carbono (CO ₂ flux) pela Severidade de Queimada (RdNBR) feito por meio do transecto no PARNA Brasília.....	47
Figura 8: Regressão entre os valores dos graus de severidade de queimada obtida pelo RdNBR (variável dependente) com o CO ₂ flux (variável independente) pré-fogo, pós-fogo e rebrota no PARNA Brasília.	48
Figura 9: Composição colorida R5G4B3 que ressalta a diferença entre a diversidade fitofisionômica do Cerrado no PARNA Brasília.	49
Figura 10: RdNBR rebrota após 1 ano hidrológico do fogo.....	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Intervalo espectral do Landsat 5	23
Tabela 2: Índice espectrais utilizados.....	37
Tabela 3: Escala de níveis de severidade do dNBR e RdNBR	41
Tabela 4: Custo de recuperação da área queimada	50
Tabela 5: Crédito de carbono perdido com o fogo	51
Tabela 6: CO ₂ liberado com a queimada	52
Tabela 7: Carbono total perdido com a queima.....	52
Tabela 8: Produção de carbono logo após o fogo.....	53
Tabela 9: Produção de crédito de carbono logo após o fogo e após 1 ano hidrológico na alta rebrota.....	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Cerrado	15
2.2 Queimadas	16
2.3 Rebrotas	18
2.4 Sequestro de Carbono	19
2.4.1 CONCEITO	19
2.5 Sensoriamento Remoto	21
2.5.1 LANDSAT 5	22
2.5.2 ÍNDICES ESPECTRAIS	23
2.5.2.1 <i>Normalized Difference Vegetation Index - NDVI</i>	23
2.5.2.2 <i>Photochemical Reflectance Index PRI</i>	25
2.5.2.3 <i>CO₂flux</i>	25
2.5.2.4 <i>Índice de queimada por razão normalizada - NBR</i>	26
2.5.2.5 <i>Índice diferenciado de queimada por razão normalizada - dNBR</i>	27
2.5.2.6 <i>Índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada - RdNBR</i> ..	28
2.6 Valoração Ambiental	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 Área de estudo	33
3.1.1 DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	34
3.1.1.1 <i>Landsat 5</i>	34
3.1.1.2 <i>ENVI</i>	34
3.1.2 VALORAÇÃO - MÉTODO CUSTO REPOSIÇÃO (MCR)	35
3.2 Métodos	35
3.2.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO ...	35
3.2.2 ÍNDICES ESPECTRAIS	37
3.2.3 DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE SEVERIDADE E SEQUESTRO	38
3.2.4 MÉTODO DE CUSTO REPOSIÇÃO	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Severidade de Queimadas	41
4.1.1 REBROTA	43
4.2 Transecto	44
4.3 Fatiamento do Sequestro de Carbono pela Severidade de Queimada	45
4.4 Regressão entre Severidade de Queimada e Sequestro de Carbono	47
4.5 Método de Custo Reposição	50
4.5.1 VALORAÇÃO DO QUANTO SE PERDEU DE BENEFÍCIO A SOCIEDADE COM A QUEIMADA	50
4.5.2 ANÁLISE DO QUANTO SE PERDEU DE CRÉDITO DE CARBONO	50
4.5.3 QUANTIFICAÇÃO DO CO ₂ LIBERADO PARA A ATMOSFERA COM A QUEIMA DE 1 HECTARE (HA) DE CERRADO	51
4.5.4 VERIFICAÇÃO SE OS CRÉDITOS DE CARBONO COBREM O CUSTO DE REPOSIÇÃO OU SE VALE A PENA DEIXAR RECUPERAR NATURALMENTE	52
5. CONCLUSÃO	55

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
---------------------------------	----

1. INTRODUÇÃO

O cerrado brasileiro sofre degradação anual devido às queimadas, principalmente por estar inserido num contexto climático que se apresenta com sazonalidade bem marcada e pela existência de um período de inverno, no qual a umidade relativa do ar chega em patamares considerados como críticos. Associado à baixa umidade, a falta de chuva aumenta a energia de ativação da combustão espontânea (NEPSTAD et al., 1999). O Distrito Federal é um representante desse bioma e possui porções generosas desse tipo de vegetação em suas unidades de conservação (UNESCO, 2002).

Não existe consenso na literatura sobre as consequências do fogo no cerrado. Palermo & Miranda (2012) salientam que o fogo pode estimular a rebrota de sementes antes adormecidas, ajudando-as na germinação por meio da quebra de sua dormência. O fogo é um dos instrumentos mais antigos destinado à limpeza de terrenos para o cultivo, para a renovação de pastagens e para o preparo de novas áreas para atividades agropecuárias (ABREU DE SÁ et al., 2007). De acordo com a Resolução nº 11 do CONAMA, de 14 de dezembro de 1988, as queimadas de manejo nas unidades de conservação são autorizadas por órgãos ambientais, desde que haja controle e manejo do fogo para que ele não ultrapasse os limites estipulados para a queimada (BRASIL, 1988).

Acontecem, ainda, queimadas naturais, ou seja, aquelas que ocorrem na vegetação por necessidade de renovação da mesma, mas sem intervenção humana. Neste caso, ocorre uma fase de imigração da vegetação para a área afetada fazendo com que haja um equilíbrio no qual não há extinção, nem mortalidade, e após essa fase, Fiedler (2004) sugere que se deva proteger o local para que ele continue em pleno vigor e equilíbrio.

Os incêndios florestais afetam diretamente a vida dos animais silvestres, pois antes das queimadas, os animais tinham um território, após elas, eles se vêem obrigados a buscar outro local que normalmente já se encontra ocupado por outros animais e que podem ser predadores ou competidores, pois seu ambiente natural

enfrenta escassez de alimento (LEITE, 2007). Por essa visão, os incêndios prejudicam o bioma, ocasionando fatores negativos como a degradação do ambiente, esgotamento das terras, erosão e a perda de biodiversidade, entre outros.

Tendo em vista que as queimadas podem ser detectadas por dados obtidos por satélites, como focos de calor sobre a superfície terrestre, e que as áreas afetadas apresentam resposta espectral específica que pode ser monitorada por dados de sensoriamento remoto, vários autores propuseram índices espectrais que são utilizados para avaliar o grau de severidade das queimadas. Dentre eles encontram-se os índices de queimada por razão normalizada (*Normalized Burn Ratio* - NBR), desenvolvido por KEY & BENSON (2006), índice diferenciado de queimada por razão normalizada (*Differenced Normalized Burn Ratio* - dNBR) (ROY et al., 2006), índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada (*Relative Differenced Normalized Burn Ratio* - RdNBR) (MILLER & THODE, 2007).

Em estudos de clima urbano, é muito comum a busca da correlação entre o aumento de temperatura com as concentrações de dióxido de carbono decorrentes dos fluxos de veículos (BAPTISTA, 2004). Outros buscam a importância da vegetação para o sequestro de carbono, visto que a queimada é um processo de liberação do gás carbônico (BAPTISTA, 2010; TEOBALDO & BAPTISTA, 2013). A quantificação do CO₂ sequestrado pela biomassa pode ser investigado por meio do índice CO₂flux (RAHMAN et al., 2000, BAPTISTA, 2004).

O presente estudo tem como objetivo avaliar quanto de sequestro florestal de carbono se perde em queimadas no bioma cerrado e seu grau de severidade no evento ocorrido no Parque Nacional de Brasília (PARNA Brasília), no ano de 2010, por meio dos índices espectrais supracitados. Devido à grande quantidade de incêndios florestais que ocorrem nas Unidades de Conservação no Distrito Federal, houve o interesse de avaliar também a capacidade de rebrota do PARNA Brasília, uma das maiores áreas afetadas, por meio da análise multitemporal das imagens de sensoriamento remoto.

Para tal, testou-se a hipótese de que há relação entre o grau de severidade da queimada ocorrida na UC PARNA Brasília em 2010 com a perda de sequestro de

carbono, sendo possível calcular a perda de biomassa pela queimada por meio de mecanismos de valoração ambiental.

Por fim, há a importância de valorar o dano causado pela queimada, ou seja, quanto a sociedade perdeu de benefícios advindos da preservação do cerrado com a queima de uma das maiores e mais importantes unidades de conservação do DF e, com isso, mensurar quanto o governo pagaria se ele interviesse e se seria necessário.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cerrado

O cerrado é considerado pelos órgãos públicos de meio ambiente o segundo maior bioma da América do Sul cuja a área equivale à 2.036.448 km² correspondendo aproximadamente a 23% da porção central do País (BRASIL,2008). Este bioma originou do intercâmbio genético entre as florestas brasileiras, tornando-o a mais rica flora de savana no mundo, com características de solos pobres em nutrientes, estação seca bem definida e a estrutura da vegetação (HERINGER et al., 1977 apud ARMANDO, 1994; CASTRO-NEVES, 2007).

Desde 1994, o cerrado sofre com a alta taxa de desflorestamento e de ocupação humana, ou seja, áreas de alta diversidade biológica estão ameaçadas e muitos especialistas deram o título para o cerrado de *hot spot* (CASTRO-NEVES, 2007).

Muitos autores dividem o bioma cerrado em quatro fitofisionomias: campo limpo, campo sujo, cerrado *stricto sensu* e cerradão. O campo limpo refere-se a quase 100% de gramíneas e herbáceas. O campo sujo possui cobertura arbórea de até 10% (CASTRO-NEVES, 2007). Já o cerrado *stricto sensu* e o cerradão, ambos são arbóreos, com 30% a 70% de cobertura arbórea, mas o cerradão em geral não apresenta cobertura contínua de gramíneas e tem espécies diferentes (CASTRO-NEVES, 2007) com maior porte possuindo maior capacidade de armazenamento de biomassa, ou seja, aumento na atividade fotossintética (CIRNE, 2008).

Em muitas fitofisionomias do cerrado também ocorre a mata de galeria ao longo dos cursos d'água e que geralmente são contornadas por campos (SILVA JUNIOR, et al., 1996). Nessa situação, as árvores atingem cerca de 20 a 30 m de altura e sua cobertura arbórea está dentro de 80 a 100% (SILVA JUNIOR, et al., 1996). "Essas faixas de florestas são consideradas corredores para a fauna florestal

assim como fornecem água, sombra e alimentos para a fauna do cerrado que as visitam rotineiramente" (SILVA JUNIOR, et al., 1996).

A sazonalidade climática do cerrado, ou seja, inverno frio e seco e verão quente e chuvoso, é bem marcada principalmente no período de inverno, pois a umidade relativa atinge níveis críticos (MIRANDA, et al., 1996). Devido às condições climáticas e a disponibilidade hídrica, a presença do fogo é constante na época seca e é considerado um fator determinante e modificador no cerrado (ARMANDO, 1994). "O fogo é considerado um fator ecológico potencialmente envolvido na seleção de espécies e na dinâmica da vegetação do Cerrado" (CIRNE, 2008).

Armando (1994) considera que:

"as queimadas em larga escala são mais prováveis em áreas com um clima úmido o suficiente para permitir a produção de grande volume de gramíneas e sazonalmente seco o suficiente para permitir que este material seque ao ponto de inflamar e queimar rapidamente, como é o caso do cerrado."

Queimadas com altas temperaturas têm como consequência muitos indivíduos mortos e muitas sementes queimadas, principalmente em condições climáticas muito secas (ARMANDO, 1994). E uma maior frequência entre queimadas gera uma redução na cobertura do componente arbóreo junto com o aumento da cobertura de gramíneas (CIRNE, 2008).

2.2 Queimadas

As queimadas são originadas de forma antrópica ou natural. As queimadas antrópicas ocorrem devido à agricultura, à pecuária e à expansão territorial humana, ou seja, colonização de novas áreas. O fogo ainda é usado na agricultura para a abertura de novas áreas de cultivos e para limpar áreas antes cultivadas (LEITE, 1996).

Esses fatores influenciam na frequência das queimadas naturais em virtude do desmatamento ocasionado pela ocupação humana (CASTRO-NEVES, 2007). Isso

acarreta maior temperatura, maior número de áreas suscetíveis a queimadas e crescimento de espécies que as favorecem, como vegetação rasteira.

As queimadas naturais ocorrem no clímax de cada ecossistema com o objetivo de regenerar novas espécies, germinar novas sementes que necessitam do calor do fogo e ativar novos nutrientes do solo (MURAKAMI & KLINK, 1996). Para NEPSTAD et al.,(1999), combustível, clima seco e fonte de ignição são os três ingredientes básicos de um incêndio. "Os ecossistemas mais inflamáveis têm abundância de material combustível fino e seco e de fácil ignição concentrado próximo à superfície do solo" (NEPSTAD, et al.,1999).

As mudanças na biomassa e no estoque de nutrientes, as alterações do ciclo hídrico e a redução do número de espécies de grupos de animais e de plantas nativas são alguns dos efeitos ecológicos do fogo (NEPSTAD, et al.,1999). Como produto da queimada, há um aumento da emissão de dióxido de carbono armazenado pelas plantas reduzindo sua biomassa.

O fogo tem o poder de perturbar muitos ecossistemas e isso acarreta a estrutura da vegetação e sua biodiversidade (MURAKAMI & KLINK, 1996). "Quanto maior o intervalo entre as queimadas, mais tempo haverá para a reprodução de muitas espécies, garantindo o suprimento do banco de sementes do solo" (ARMANDO, 1994). Para cada tipo de espécie há comportamentos diferentes ao fogo, isso depende da demografia, do padrão de alocação e da forma de crescimento de cada planta (MURAKAMI & KLINK, 1996).

O efeito do fogo dependerá da resistência e da resiliência das espécies de cada ecossistema (CASTRO-NEVES, 2007), que continua:

"a resistência remete à capacidade de resistir às ações imediatas do fogo, como por exemplo, a casca grossa e crescimento rápido são considerados características para resistência ao fogo, pois reduziram a exposição da planta às chamas. Resiliência é capacidade de recuperação da área e de restabelecimento ecológico anterior."

Em síntese, o cerrado é considerado um dos ecossistemas altamente inflamáveis devido às secas sazonais severas e as gramíneas que possuem o papel de combustível. (NEPSTAD, et al.,1999). Porém, segundo Castro-Neves (2007) os cerrados e as savanas, de modo geral, são considerados sistemas resilientes às

queimadas, porém pode-se dizer que o fogo modifica fisionomias nos cerrados do Brasil central.

2.3 Rebrotas

Embora o fogo implique em danos irreversíveis a inúmeras espécies vegetais, uma estratégia para manutenção dos indivíduos é a rebrota, ou reprodução sexuada que no caso é via sementes (CIRNE & SCARANO, 1996; CASTRO-NEVES, 2007). Porém, essas podem até necessitar do fogo como estímulo para ativação (CIRNE & SCARANO, 1996).

O fogo destrói as estruturas aéreas das plantas que para permanecer no cerrado deverão possuir a habilidade de rebrotar a partir de estruturas subterrâneas, que é o caso da reprodução assexuada (MURAKAMI & KLINK, 1996). Esse tipo de reprodução é mais comum no estrato rasteiro, ou seja, nas gramíneas e nas herbáceas.

Porém, muitas espécies são incapazes de se regenerar depois do fogo e sua reprodução será somente através do recrutamento via sementes. Isso acontece devido à eliminação da parte aérea de muitas espécies de árvores do cerrado, porém necessita de um banco de sementes no solo ou de uma alta capacidade de dispersão (MIRANDA & KLINK, 1996).

"LABOURIAU et al., (1963) assinalaram 50 espécies diferentes cujas sementes germinaram em estado natural e encontraram provas evidentes de que outras 32 espécies eram provenientes de sementes" (ARMANDO, 1994). Porém, Rosa (1990) encontrou que "gramíneas alcançaram 80% da biomassa aérea no primeiro mês após a queimada, devido a rebrota" (MIRANDA & KLINK, 1996). Pode-se inferir que a rebrota e a reprodução por sementes irá depender de cada espécie.

O fogo reduz drasticamente a taxa de crescimento das espécies mesmo elas se regenerando após a queimada (ARMANDO, 1994) e em condições secas a

regeneração é mais lenta se comparado as condições úmidas (COCHRANE 1968, apud ARMANDO, 1994).

"Wright & Heinselman (1973), diz que o fogo é muitas vezes considerado um estimulante da reprodução vegetativa" (ARMANDO, 1994), porém para Armando (1994) é fundamental o acompanhamento das mudanças ocasionadas pelo fogo em áreas protegidas e conhecer suas consequências.

2.4 Sequestro de Carbono

2.4.1 CONCEITO

Devido às amplas divulgações sobre a influência das atividades antrópicas na elevação das concentrações atmosféricas dos principais gases do efeito estufa, os estudos sobre estoques e fluxos de carbono têm recebido atenção especial (IPCC, 2007 apud DIAS, 2010). Isso porque os gases de efeito estufa estão sendo responsabilizados pelos desastres do meio ambiente (ALCARENGA et al., 2006).

As principais causas de mudanças climáticas estão associadas à queima de combustíveis fósseis e dos diferentes usos da terra, como desmatamento, ocupação e agricultura que também liberam CO₂ (SEIFFERT, 2009). Isso ocorre devido ao ecossistema ser modificado, ou seja, antes o dióxido de carbono (CO₂) era armazenado e hoje é liberado para atmosfera havendo um desequilíbrio.

Segundo SEIFFERT (2009):

"O desmatamento torna-se ainda mais impactante quando ocorre através de queimadas, que além de desmobilizar rapidamente grandes quantidades de carbono e lançá-las na atmosfera também produzem um grande volume de material particulado para a atmosfera".

No ano 1994, os representantes dos países signatários passaram a se reunir anualmente para tomar decisões em prol do combate das mudanças climáticas, após a entrada da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas. Essas reuniões foram denominadas de Conferência das Partes (COPs) (ALCARENGA et al., 2006).

Em 1997, em uma cidade do Japão, Quioto, ocorreu a Conferência COP 3 que foi estabelecido, entre as Partes, um protocolo que definiu metas e prazos relativos à redução das emissões de GEE para os países do anexo I, que designava na sua maioria os países desenvolvidos, e esse acordo ficou conhecido como Protocolo de Quioto (ALCARENGA et al., 2006). O conceito de sequestro de carbono foi consagrado pela COP 3 com o objetivo principal de conter, reverter e reduzir o acúmulo de CO₂ na atmosfera (REZENDE et al., 2001).

O Protocolo de Quioto teve como objetivo implementar a política de redução dos GEEs. Um dos meios foi o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) que se "entende por atividades de projeto as atividades integrantes de um empreendimento que tenham por objeto a redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou a remoção de CO₂" (SEIFFERT, 2009). Esses projetos geram uma certificação que permite a venda como Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) tendo como objetivo a mitigação das mudanças climáticas (SEIFFERT, 2009).

Segundo SEIFFERT (2009),

"No mercado de créditos de carbono, existem dois tipos básicos de participante: os compradores, que são as organizações ou países que estão emitindo acima das suas metas de redução de emissões de GEEs, e os vendedores, em geral, organizações que apresentam projetos com potencial comprovado para a geração de redução das emissões de GEEs ou sequestro de carbono, sempre se tomando como referência o nível de emissões na ausência da implantação do projeto."

No mercado de emissões, o crédito de carbono corresponde ao CO₂ equivalente que resulta na multiplicação das toneladas emitidas de um determinado GEE (SEIFFERT, 2009). Assim, o problema dos GEEs altera da seção de meio ambiente para de economia e de comércio (REZENDE et al., 2001).

O sequestro de carbono armazenado pelas plantas pode ser calculado por meio da estimativa da biomassa aérea, subterrânea e de serrapilheira (REZENDE, et al., 2001). A produção primária bruta (PPB) de um ecossistema equivale a fixação total de carbono inorgânico transformado em orgânico por meio da fotossíntese e normalmente ela é expressa em toneladas por hectares (DIAS, 2010). Já a produção primária líquida designa a taxa do carbono orgânico presente na biomassa das plantas (DIAS, 2010).

2.5 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é uma ciência que tem por objetivo obter informações sobre um objeto sem estar em contato físico, ou seja, remotamente e ela é bastante utilizada para monitorar e estudar a Terra, bem como suas características biofísicas e de uso e ocupação (JENSEN, 2011).

"A ciência do sensoriamento remoto é diferente da cartografia ou do GIS porque estas ciências se assentam em dados obtidos por outras já a ciência do sensoriamento remoto pode fornecer nova e fundamental informação científica" (JENSEN, 2011).

O avanço em tecnologias de sistemas fotográficos para cartografia surge com o fim da primeira guerra mundial (NOVO, 2010). Esses avanços foram desenvolvidos com o intuito de vigiar remotamente os territórios dos inimigos na guerra e logo depois, na segunda guerra mundial, também foram criados estudos na região do infravermelho com intuito da detecção de camuflagem. Mesmo após as guerras mundiais, essas tecnologias ficaram disponíveis para uso civil impulsionando as aplicações de fotografias para o estudo e levantamento de dados sobre recursos naturais (NOVO, 2010).

As informações adquiridas por sensoriamento remoto é obtida através do instrumento denominado sensor, cujo papel é registrar a radiação eletromagnética diretamente ou indiretamente, por reflexão, substituindo suas propriedades reais

(JENSEN, 2011). Esses dados são armazenados em forma de matriz de números, e cada encontro de uma linha com uma coluna há um valor digital, mais conhecido como valor de número digital. A menor unidade bidimensional de uma imagem digital é chamado de pixel que tem um valor de brilho associado.

Segundo NOVO (2010):

"A região entre 0,38 e 3,00 μm é chamada de região de energia refletida do espectro, porque a energia que os sensores detectam nessa região é basicamente originada da reflexão da energia solar pelos objetos da superfície.(...) O espectro de energia refletida divide-se ainda, em três sub-regiões: visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Entre 0,38 e 0,72 μm , o espectro recebe o nome de visível porque corresponde à região de sensibilidade do olho humano à radiação eletromagnética. Entre 0,72 e 1,3 μm , o espectro eletromagnético é conhecido como infravermelho próximo e, entre 1,3 e 3 μm , como infravermelho de ondas curtas. Os sensores termais operam 7 μm e 15 μm , que é uma região também conhecida por infravermelho distante."

2.5.1 LANDSAT 5

Em 1967, a NASA iniciou o programa ERTS que objetiva, o lançamento de sete satélites para adquirir informações dos recursos da Terra. Posteriormente, o programa passou a denominar Landsat e é um dos mais antigos sistemas de satélites dos Estados Unidos adquirindo dados desde 1972. Seus sensores são de varredura multiespectral (MSS) e os mapeados temáticos (TM) (JENSEN, 2011).

Segundo Novo (2010),

"Em primeiro lugar, o subsistema satélite foi concebido como uma espaçonave modular muito maior que as anteriores, tendo as seguintes funções: fornecer meios de transmissão das imagens diretamente às estações terrestres através de satélites de telecomunicações; proporcionar energia para a operação dos instrumentos sensores, equipamentos sensores e equipamentos de suporte; manter estabilidade de altura das estações terrestres; interagir com os ônibus espaciais."

O Landsat 5 possui o sistema sensor TM que é um sensor óptico-mecânico '*whiskbroom*' que registra a energia na faixa de todos os espectros eletromagnético (visível, infravermelho próximo, de ondas curtas e termal) (JENSEN, 2011). Suas

características orbitais são: repetitiva, circular, Sol-síncrona e quase polar e sua altura é de 705 Km em relação à superfície terrestre (NOVO, 2010). Sua resolução temporal é de 16 dias, isto significa a frequência com que o satélite gira em torno da Terra para registrar uma mesma área.

O Landsat 5 possui 7 regiões de intervalos de comprimentos de ondas, mas conhecido como bandas espectrais, as quais são ótimas para obter informações sobre parâmetros biofísicos (JENSEN, 2011). Isso o caracteriza como um sistema multiespectral que possui dezenas de bandas. As bandas 1 a 5 e 7 possuem resolução espacial de 30 x 30 m, entretanto a banda 6 é de 120 x 120 m, ou seja, isso significa a menor unidade entre dois objetos, mais conhecido como dimensão do pixel (JENSEN, 2011). Os intervalos espectrais de cada banda é indicado na Tabela 1.

Tabela 1: Intervalo espectral do Landsat5

Landsat 5		
Bandas	Intervalo espectral (μm)	Característica
1	0,45 - 0,52	Azul
2	0,52 - 0,60	Verde
3	0,63 - 0,69	Vermelho
4	0,76 - 0,90	Infravermelho Próximo
5	1,55 - 1,75	Infravermelho Médio
6	10,4 - 12,5	Infravermelho Termal
7	2,08 - 2,35	Infravermelho Médio

Fonte: Jensen, 2011

2.5.2 ÍNDICES ESPECTRAIS

2.5.2.1 Normalized Difference Vegetation Index - NDVI

Segundo ROSEMBACK, et al. (2005), há dezenas índices de vegetação diferentes sendo aplicados em vários estudos e na sua grande maioria sendo obtidos a partir da reflectância nos comprimentos de onda no infravermelho próximo e do vermelho. Portanto, os índices utilizados realizam a mensuração da quantidade de clorofila e da absorção de energia (MYNENI et al., 1997 apud POVH, et al., 2008).

VELASCO, et al. (2007), o intuito da obtenção dos índices de vegetação é ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação aos demais alvos da superfície terrestre, como por exemplo o solo e um dos índices de vegetação mais utilizados é o NDVI.

ROUSE et al. (1973) desenvolveram o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e normalizaram a razão simples para o intervalo de -1 a +1. A normalização é feita por meio da equação 1.

$$NDVI = \frac{(\rho_{ivp} - \rho_v)}{(\rho_{iv} + \rho_v)} \quad (1)$$

Onde:

ρ_{ivp} = reflectância nos comprimentos de onda no infravermelho próximo

ρ_v = reflectância nos comprimentos de onda vermelho

A descrição visual de uma imagem NDVI é observada em tons de cinza, os tons mais claros são as áreas com cobertura vegetal mais densa e os valores intermediários essa cobertura vai diminuindo até chegar aos tons mais escuros (MENESES & ALMEIDA, 2012), ou seja, analisando os valores do NDVI, os valores positivos indicam aumento da vegetação enquanto valores negativos indicam áreas sem vegetação, como por exemplo água, solo exposto e neve (JENSEN, 2011). De acordo com Rouse et al. (1973), o índice apresenta valores em torno de 0,2 e 0,8 quando a vegetação se apresenta saudável.

Em síntese, o índice NDVI é um dos índices mais antigos, mas que ainda é bastante utilizado na literatura, sendo explorado em estudos climáticos e culturas florestais e agrícolas (PONZONI, et al., 2012).

2.5.2.2 Photochemical Reflectance Index PRI

Photochemical Reflectance Index, ou Índice de Reflectância Fotoquímica, é um índice que analisa o estresse e a produtividade da vegetação por meio da sensibilidade as mudanças nos pigmentos carotenoides presentes na folha, ou seja, um dos pigmentos mais importantes para estudar a fotossíntese. Esses pigmentos indicam a eficiência do uso da luz durante a fotossíntese, isto é, a taxa de CO₂ armazenada nas folhas (CANAVESI et al., 2010).

A equação do PRI é uma diferença normalizada entre os comprimentos de onda azul e verde, como pode ser observado na equação 2. Os valores variam entre -1 e 1, e valores comuns para vegetação sadia ficam entre -0,2 e 0,2 (GAMON et al., 1997).

$$PRI = \frac{(\rho_{azul} - \rho_{verde})}{(\rho_{azul} + \rho_{verde})} \quad (2)$$

Onde:

ρ_{azul} = reflectância nos comprimentos de onda azul

ρ_{verde} = reflectância nos comprimentos de onda verde

2.5.2.3 CO₂ flux

Muitos estudos têm demonstrado que o índice de vegetação NDVI pode estimar o fluxo de carbono da vegetação (RAHMAN et al. 2000) e que também o índice PRI pode ser correlacionado com as taxas de fotossíntese (BAPTISTA, 2003) e uma das ferramentas utilizadas para essa análise é o sensoriamento remoto (RAHMAN et al. 2000).

Rahman et al. (2000) afirmam ser possível a determinação deste fluxo de CO₂ por meio da integração de dois índices espectrais, o NDVI com o PRI (BAPTISTA, 2003).

Ele utilizou modelagens feitas com dados do sistema sensor AVIRIS e comparou com os dados de campo para formação boreal de coníferas, e com isso verificou uma elevada correlação entre os resultados do satélite e do campo (BAPTISTA, 2003). Baptista (2003) nomeou essa integração que mede a eficiência do processo de seqüestro de carbono de CO₂flux.

Como foi ditado anteriormente, segundo BAPTISTA & MUNHOZ (2009):

O NDVI é um método de determinação do vigor da vegetação por meio de diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e a feição de absorção de luz na região do vermelho utilizada na fotossíntese. Já o PRI mede, também por diferença normalizada, a relação entre a feição de absorção na região do azul e o pico de reflectância da vegetação na região do verde.

O CO₂flux (Equação 4), índice nomeado por Baptista (2003), e desenvolvido por Rahman et al. (2000), considera que o seqüestro florestal de carbono é o resultado da multiplicação do NDVI (ROUSE et al., 1973) pelo PRI – *Photosynthetic Reflectance Index* (GAMON et al., 1997) reescalonado para valores positivos, ou sPRI (Equação 3) (SILVA & BAPTISTA, 2013), como mostra as equações:

$$sPRI = \frac{(PRI+1)}{2} \quad (3)$$

$$CO_2flux = (NDVI \times sPRI) \quad (4)$$

2.5.2.4 Índice de queimada por razão normalizada - NBR

O índice *Normalized Burn Ratio* (NBR) surgiu como uma forma de mapear a gravidade de queimadura usando tecnologia de sensoriamento remoto (KEY & BENSON 2006).

Koutsias e Karteris (1998) apresentaram o mapeamento de áreas queimadas por meio do índice NBR, porém, Key & Benson, em 1999, realizaram a nomenclatura e o desenvolvimento multitemporal do resultado (CARDOZO et al, 2011).

O NBR é um método de determinação da escala de gravidade de uma queimada por meio da diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas (ALLEN & SORBEL, 2008). O resultado visual da imagem NBR é um melhor contraste entre a vegetação queimada e a vegetação saudável (CARDOZO et al, 2011).

A equação do NBR é uma diferença normalizada que pode ser observado na equação 5. O NBR pode ser multiplicado por mil para ser escalonado para valores inteiros.

$$NBR = \frac{(\rho_{ivp} - \rho_{ivm})}{(\rho_{ivp} + \rho_{ivm})} \times 1000 \quad (5)$$

Onde:

ρ_{ivp} = reflectância nos comprimentos de onda do infravermelho próximo

ρ_{ivm} = reflectância nos comprimentos de onda do infravermelho de ondas curtas

2.5.2.5 Índice diferenciado de queimada por razão normalizada - dNBR

O índice diferenciado de queimada por razão normalizada (dNBR) compara o conjunto de dados de antes da queimada (NBR pré-fogo) e com conjuntos depois da queimada (NBR pós-fogo), com o intuito de isolar a mudança provocada pela queimada (ALLEN & SORBEL, 2008). A equação é uma subtração dos NBRs antes e depois da queimada como pode ser observado na equação 6.

$$dNBR = NBR_{pré-fogo} - NBR_{pós-fogo} \quad (6)$$

De acordo com Key & Benson (2006), o dNBR tem um alcance potencial de acima de 2000 ou -2000, mas raramente ultrapassa uma faixa de -500 a 1200 sobre superfícies queimadas.

As áreas inalteradas têm valores próximos de zero, indicando que não há alteração, ou seja, que não houve queimada, e áreas queimadas têm geralmente valores superiores a 100 (TEOBALDO & BAPTISTA, 2013).

Observando como o dNBR funciona, ou seja, ele subtrai dos NBRs obtém-se uma cena que realça as mudanças entre as mesmas, destacando a presença das queimadas. Com essa idéia, houve a tentativa de estudar a capacidade de rebrota a partir desse mesmo índice, isto é, a subtração entre as imagens do pós-fogo e outra data posterior denominada rebrota (equação 7). No ano de 2010, a imagem pós-fogo usada foi a de 23 de setembro e a rebrota de 09 de outubro e a imagem pós-fogo após 1 ano hidrológico foi a 9 de outubro de 2010 e a rebrota de 25 de agosto de 2011.

$$dNBR = NBR_{pós-fogo} - NBR_{rebrota} \quad (7)$$

2.5.2.6 Índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada - RdNBR

O índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada (RdNBR) é um índice relativo ao dNBR, ou seja, ele correlaciona os dados com a quantidade de pré-fogo considerando o tipo de vegetação antes da queimada (TEOBALDO & BAPTISTA, 2013). Um índice relativo fornece uma definição mais consistente da gravidade permitindo comparação de incêndios através do espaço e do tempo (MILLER & THODE, 2007).

O RdNBR quando comparado com o dNBR relativiza o tipo de vegetação e a densidade da floresta onde ocorreu a queimada, ou seja, leva em conta a cobertura vegetal (arbórea e tamanho) da floresta que foi queimada (MILLER & THODE, 2007). MILLER & THODE (2007) relativizaram o dNBR utilizando uma raiz quadrada

do NBR pré-fogo onde eles encontraram o melhor ajuste em parcelas de vegetação escassa e sem necessidade de calibração adicionais de campo para cada fogo, como pode ser observado na equação 8.

$$RdNBR = \left(\frac{NBR_{pr\acute{e}-fogo} - NBR_{p\acute{o}s-fogo}}{\sqrt{ABS\left(\frac{NBR_{pr\acute{e}-fogo}}{1000}\right)}} \right) \quad (8)$$

O RdNBR também foi utilizado para a verificação da rebrota nas áreas queimadas das unidades de conservação de tal forma que relativize e quantifique melhor a rebrota sem subestimar áreas. O RdNBR para a rebrota é apresentado na equação 9.

$$RdNBR = \left(\frac{NBR_{p\acute{o}s-fogo} - NBR_{rebrota}}{\sqrt{ABS\left(\frac{NBR_{p\acute{o}s-fogo}}{1000}\right)}} \right) \quad (9)$$

2.6 Valoração Ambiental

O ser humano, com a sua ganância e poder, ao longo do tempo, utilizou em larga escala e sem consciência os recursos naturais oferecidos pelo meio ambiente para sua matéria prima ou pra consumo, sem se lembrar do equilíbrio do ecossistema. Atualmente, percebeu-se que o sistema econômico criado pelo ser humano não é mais compatível com o sistema ecológico que a natureza oferece (MATTOS & MATTOS, 2004), isso se deve também ao aumento da população e a pressão exercida nos recursos naturais escassos. Ou seja, todos os serviços e bens naturais estão sendo esgotados e utilizados pela sociedade de forma irracional, não

estão sendo valorados corretamente pelo sistema econômico (CALDERONI, 2004 apud SEIFFERT, 2009).

Pensando nesse conflito, surge a idéia de valorar ou colocar valor nos recursos que a natureza oferece, ou seja, mostrar o valor econômico que o recurso pode oferecer e o prejuízo irreversível que pode ocorrer caso ele seja destruído (FIGUEROA, 1996 apud MATTOS & MATTOS, 2004). Para MATTOS & MATTOS (2004), o ambiente deve ser internalizado e considerado uma dimensão do desenvolvimento econômico, ou seja, o processo econômico para ser produtivo ele tem que computar os custos de degradação ambiental e do consumo de recursos naturais.

Para solucionar esses problemas, surge os métodos de valoração econômica ambiental que tem como função quantificar os impactos econômicos e sociais de projetos ou danos (NOGUEIRA et al., 2000).

"Entre os diversos tipos de valor econômico relacionados aos recursos naturais, é necessário fazer distinção entre valor de uso e valor intrínseco" (MATTOS & MATTOS, 2004) ou valor de não-uso. O valor de uso representa o uso real, concreto ou potencial que o recurso pode prover (NOGUEIRA & MEDEIROS, 1999).

A partir dessa distinção inicial, o valor de uso é subdividido em valor de uso direto (VUD), valor de opção e valor de quase-opção (NOGUEIRA et al., 2000). Alguns economista subdividem dentro do valor de uso, o valor de uso indireto, como MATTOS & MATTOS (2004). "O valor de uso indireto (VUI) inclui os benefícios derivados basicamente dos serviços que o ambiente proporciona para suportar o processo de produção e consumo" (MATTOS & MATTOS, 2004).

De acordo com NOGUEIRA & MEDEIROS (1999),

"O valor de opção (VO) refere-se ao valor da disponibilidade do recurso ambiental para uso futuro e o valor de quase-opção (VQO) representa, por sua vez, o valor de reter as opções de uso futuro do recurso, dada uma hipótese de crescente conhecimento científico, técnico, econômico ou social sobre as possibilidades futuras do recurso ambiental sob investigação."

Por último, dentro do valor de não-uso, está o valor de existência (VE) que é o valor independentemente do uso atual e futuro, ou seja, somente pela sua existência (MATTOS & MATTOS, 2004). Então o valor econômico é expresso de acordo com a equação 10.

$$VET = VUD + VUI + VO + VQO + VE \quad (10)$$

Após essa divisão de valores, toda valoração econômica ambiental deve calcular o valor do bem ou serviço por meio do VET (NOGUEIRA & MEDEIROS, 1999).

Infelizmente, muitos desses valores apresentados não são comercializados no mercado e nem refletem o valor real dos recursos usados durante a sua produção, por isso deve-se obter estimativas plausíveis com a realidade (NOGUEIRA et al., 2000).

Os métodos de valoração econômica ambiental mais utilizados são: Valoração Contingente; Custo de Viagem; Preços Hedônicos; Dose-Reposta; Custo de Reposição; e Custos Evitados (Nogueira et al., 2000).

O Método de Valoração Contingente (MVC) determina o quanto uma pessoa está disposta a pagar para usufruir de um bem ou serviço ou quanto ela teria que ser compensada para deixar de recebê-lo (SANT'ANNA e NOGUEIRA, 2010). O seu ponto positivo é a determinação de todos os valores de uso e de não uso, porém para aplicar o questionário, necessário para esse método, deve separar bem a amostra de pessoas. Dessa forma, esse método é excelente para valorar a flora e fauna.

Para Sant'anna e Nogueira (2010), o Método Custo de Viagem (MCV) é calculado pela soma dos gastos efetuados pelas pessoas para se deslocarem ao lugar aonde irão usufruir dos benefícios advindos de serviços e bens ambientais.

O Método de Preços Hedônicos é usado para comparar valores de propriedade para estimar as mudanças nos parâmetros da qualidade ambiental e do bem-estar social (Nogueira et al., 2000).

O Método Dose Resposta (MDR) é utilizado em bens cujo preço não existe no mercado, ou seja, o bem ou serviço ambiental atua como insumo intermediário na produção de outros bens que possuem mercado, já que o bem não possui (SANT'ANNA e NOGUEIRA, 2010).

O Método de Custos Evitados (MCE) surge devido a preocupação com a qualidade de algum recurso, ou seja, a prevenção feita pelos indivíduos, e com isso eles substituem algum produto que pode causar efeitos maléficos à produtos de melhor qualidade, mesmo pagando a mais por essa atitude (NOGUEIRA et al., 2000).

O Método Custo Reposição (MCR) utiliza preços de mercado do bem e/ou serviço que está sendo afetado pelo impacto ambiental, isto é, considera apenas os gastos com a reparação dos danos provocados pela redução da qualidade do recurso ambiental (NOGUEIRA et al., 2000). Esse método necessita do "estado" anterior ao dano para tentar reparar os danos causados.

O método que melhor se encaixa no objetivo desse trabalho é o Método Custo Reposição.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo é o Parque Nacional de Brasília (PARNA Brasília), uma Unidade de Conservação localizada no Distrito Federal, criada em 1961 pelo Decreto Nº 241. No Decreto Nº 24.149 de 2003 são definidas as poligonais do PARNA Brasília e dá outras providências, como as rodovias situadas na unidade de conservação (UC) que são a DF-003 (EPIA), DF-001 (EPCT), DF-097 (EPAC), o Setor de Oficinas Norte (SOFN), a Granja do Torto e a área ocupada pelo Ministério do Exército. Até então, o Parque Nacional de Brasília, tinha área de 30.412,1629 ha. Porém, os limites dessa UC foram redefinidos e a área aumenta para 42.389,01 ha, de acordo com a Lei Nº 11.285 de 2006.

O Parque Nacional de Brasília (PARNA Brasília) foi criado para designar várias funções como, proteger mananciais hídricos importantes que abastecem parte da população do Distrito Federal e conservar a flora, a fauna e os recursos genéticos dos ecossistemas locais (COSTA et al. 1994 apud ABREU, 2000). Um desses mananciais protegidos pelo Parque é a Represa de Santa Maria que abastece parte do DF e que garante a qualidade da água de dois tributários do lago Paranoá, o córrego do Torto e do Bananal (AUGUSTO et al., 2000).

Atualmente, um dos maiores problemas de manejo no Parque Nacional de Brasília decorre da existência de espécies exóticas invasoras, sobretudo gramíneas (HOROWITZ et al., 2007). Pesquisadores identificaram 28 gramíneas invasoras, isso totaliza 18% de todas as gramíneas citadas para a área (HOROWITZ et al., 2007).

3.1.1 DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

3.1.1.1 *Landsat 5*

O critério para escolha das imagens visando à análise das queimadas no Distrito Federal baseou-se na dimensão da área afetada. A área escolhida e de maior queimada em 2010 pertence ao Parque Nacional de Brasília (PARNA Brasília). Para tal, adotaram-se cenas do sensor *Thematic Mapper* do Landsat 5 para os anos de 2010 e 2011.

As imagens escolhidas do ano de 2010 foram as 07 e 23 de setembro e 09 de outubro. Já para o ano de 2011, foram selecionadas as cenas das datas de 25 de agosto para visualização da rebrota após um ano hidrológico.

A área queimada no ano de 2010 é de grande importância para Brasília e entorno, tendo em vista que o PARNA Brasília objetiva a melhoria da qualidade de vida para da população e a proteção de espécies nativas.

3.1.1.2 *ENVI*

O ENVI é um software que apresenta funcionalidades para tarefas de análise e processamento de imagem, útil para visualização, exploração, análise e apresentação de dados na área de Sensoriamento Remoto/SIG (SulSoft, 2013). Ele é muito utilizado para pré-processamento e processamento digital de imagens.

3.1.2 VALORAÇÃO - MÉTODO CUSTO REPOSIÇÃO (MCR)

O Método Custo de Reposição (MCR) tem como objetivo valorar o dano causado ao bem ou serviço ambiental calculando por meio da medida do seu benefício (RODRIGUES, 2005).

A sua operacionalização é feita pela agregação dos gastos efetuados na reparação dos efeitos negativos provocados por algum distúrbio na qualidade ambiental de um recurso utilizado numa função de produção, e ele pode ser entendido como uma medida do benefício da reparação do dano (RODRIGUES et al., 2001).

O MCR considera apenas os valores dos gastos com a reparação do dano provocado pela redução do bem-estar social e da qualidade do recurso ambiental (NOGUEIRA et al., 2000). "O MCR utilizam preços de mercado não do bem ou serviço ambiental propriamente dito, mas do bem e/ou serviço que está sendo afetado pelo impacto ambiental" (NOGUEIRA et al., 2000).

A grande dificuldade do MCR é que o método exclui qualquer possibilidade de se estimar valor de opção e valor existência desse ativo (NOGUEIRA et al., 2000).

3.2 Métodos

3.2.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

No presente estudo, utilizou-se o software ENVI 4.8. Para a etapa de georreferenciamento e registro, pelo método imagem-imagem, das cenas de 2010 e 2011, utilizou-se inicialmente a cena datada de 6 de abril de 1989, georreferenciada e ortorretificada, disponível no site *Global Land Cover Facility* da Universidade de Maryland (<http://glcf.umiacs.umd.edu/>) (FIGURA 1).

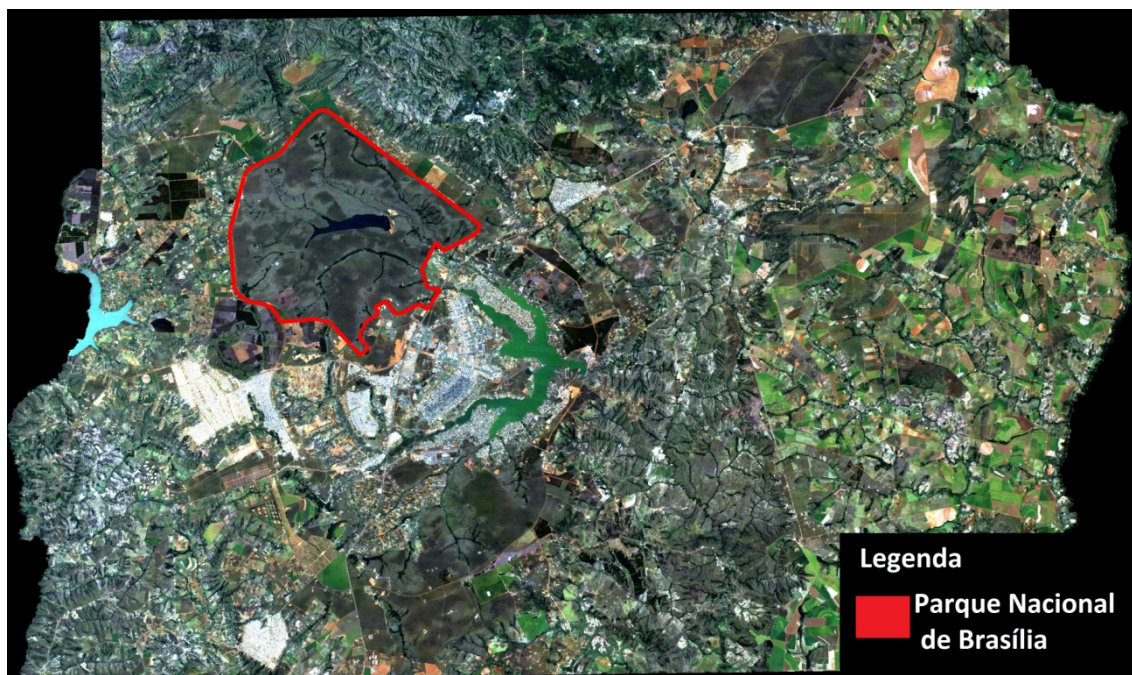


Figura 1: Cena de 6 de abril de 1989 do Landsat TM 5 do DF, destacando a UC, Parque Nacional de Brasília, investigada no presente estudo.

Para corrigir os efeitos de espalhamento e absorção dos componentes atmosféricos e transformar os dados de radiância em reflectância, utilizou-se o método empírico QUAC (*QUick Atmospheric Correction*), que ao contrário dos métodos baseados em modelos de transferência radiativa, é implementado a partir de parâmetros obtidos diretamente da cena, sem informações auxiliares (ENVI, 2009).

Para delimitar a área da unidade de conservação estudada foi feita uma máscara com shapes do contorno da área para facilitar sua visualização.

3.2.2 ÍNDICES ESPECTRAIS

Os índices escolhidos para estudar e identificar a severidade das queimadas foram o índice de queimada por razão normalizada (NBR) (KEY & BENSON, 2006), índice diferenciado de queimada por razão normalizada (dNBR) (ROY *et al.*, 2006), e o índice relativo diferenciado de queimada por razão normalizada (RdNBR) (MILLER & THODE, 2007). O índice dNBR e RdNBR também foram utilizados para o estudo da capacidade de rebrota do Cerrado. E para estudar o comportamento do sequestro florestal de carbono perdido pelas queimadas, o índice escolhido foi o CO₂flux (RAHMAN *et al.*, 2000). A tabela 2 indica todas as equações usadas e suas respectivas bandas advindas do Landsat 5.

Tabela 2: Índices espectrais utilizados

Índices espectrais	Bandas Landsat TM 5	Equações
NBR	Banda 4 e 7	$NBR = \frac{(R_4 - R_7)}{(R_4 + R_7)} \times 1000$
dNBR	Imagem pré-fogo e pós-fogo	$dNBR = NBR_{pr\acute{e}-fogo} - NBR_{p\acute{o}s-fogo}$
dNBR rebrota	Imagem pós-fogo e rebrota	$dNBR = NBR_{p\acute{o}s-fogo} - NBR_{rebrota}$
RdNBR	Imagem pré-fogo e pós-fogo	$RdNBR = \left(\frac{NBR_{pr\acute{e}-fogo} - NBR_{p\acute{o}s-fogo}}{\sqrt{ABS\left(\frac{NBR_{pr\acute{e}-fogo}}{1000}\right)}} \right)$
RdNBR	Imagem pós-fogo e rebrota	$RdNBR = \left(\frac{NBR_{p\acute{o}s-fogo} - NBR_{rebrota}}{\sqrt{ABS\left(\frac{NBR_{p\acute{o}s-fogo}}{1000}\right)}} \right)$
NDVI	Banda 4 e 3	$NDVI = \frac{(R_4 - R_3)}{(R_4 + R_3)}$
PRI	Banda 1 e 2	$PRI = \frac{(R_1 - R_2)}{(R_1 + R_2)}$
CO ₂ flux	NDVI e sPRI	$CO_2flux = (NDVI \times sPRI)$

3.2.3 DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE SEVERIDADE E SEQUESTRO

Para a determinação da correlação entre severidade de queimada e sequestro de carbono, realizou-se um transecto para a determinação do CO₂flux antes, depois da queimada e na rebrota, na Unidade de Conservação. O transecto foi traçado sob a imagem RdNBR, de forma que incluíssem áreas queimadas e não queimadas para melhor visualização do comportamento fotossintético dessas áreas.

Avaliar o comportamento do sequestro de carbono na área queimada requer separar as partes do transecto referentes a cada tipo de severidade no pré e no pós-fogo e na rebrota. E, posteriormente, avaliou-se a relação entre as variáveis por meio de regressão não linear obtida para a UC estudada para os momentos de pré e pós-fogo e da rebrota separadamente.

3.2.4 MÉTODO DE CUSTO REPOSIÇÃO

Quando os efeitos ambientais são localizados ou específicos, como é o caso da perda de sequestro de carbono gerado pela queimada, é possível medir diretamente seus impactos negativos em termos de produção sacrificada ou perdida (MATTOS & MATTOS, 2004). Por exemplo, em termos de sequestro de carbono perdido e o custo para repor a área, a princípio, como era anteriormente. Para tanto, é necessário o acesso a dados sobre características do local anterior a queimada (SANT'ANNA & NOGUEIRA, 2010).

Como já foi dito anteriormente, o MCR exclui a possibilidade de cálculo do valor de opção e de quase opção. Esse método será utilizado de acordo com os seguintes procedimentos metodológicos:

1. Valoração do quanto a sociedade perdeu de benefício com a queimada (Equação 11);

$$CR = Aq \times \text{preçodamuda} \times N^{\frac{\text{mudas}}{\text{ha}}} \times MO \quad (11)$$

Onde,

CR = Custo de reposição

Aq = Área queimada em hectares

$N\frac{mudas}{ha}$ = Número de mudas por hectare

MO = Mão de obra para plantação das mudas

2. Análise do quanto se perdeu de crédito de carbono (Equação 12);

$$CC_{perdido} = Aq \times pre\text{ço}doC \times PPsq \quad (12)$$

Onde,

CC perdido = Crédito de carbono perdido pela queimada

A = Área queimada em hectares

Preço do C = Preço do carbono no mercado

PPsq = Produtividade primária do cerrado sem queimada

3. Quantificação do CO₂ liberado para a atmosfera com a queima de 1 hectare (ha) de cerrado (Equação 13).

$$CO2 = A \times pre\text{ço}doC \times CO2\frac{liberado}{ha} \quad (13)$$

Onde,

A = Área rebrotada em hectares

PPsq = Produtividade primária do cerrado com queimada

$CO_2 \frac{\text{liberado}}{\text{ha}}$ = Tonelada de CO₂ liberado pela queimada de 1 hectare de cerrado.

4. Verificar se o crédito de carbono cobre o custo de reposição ou se vale a pena deixar recuperar naturalmente (Equação 14);

$$CC_{\text{recuperado}} = Ar \times \text{preço do C} \times PP_{\text{cq}} \quad (14)$$

Onde,

CC recuperado = Crédito de Carbono recuperado

Ar = Área rebrotada em hectares








PP_{cq} = Produtividade primária do cerrado com queimada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Severidade de Queimadas

A Figura 2a apresenta o resultado do dNBR e a figura 2b apresenta o resultado do RdNBR para as datas de 7 e 23 de setembro do ano de 2010, e suas cores obedecem à gradação descrita na tabela 3.

Tabela 3: Escala de níveis de severidade do dNBR e RdNBR

Nível de severidade	Legenda do mapa	Extensão
Alta rebrota		-500 a -250
Baixa rebrota		-250 a -100
Não queimada		-100 a +100
Baixa severidade		+100 a +270
Severidade moderada baixa		+270 a +440
Severidade moderada alta		+440 a + 660
Alta severidade		+660 a +1300

A análise do PARNA Brasília, como um todo, obtida pelas figuras 2a e 2b permite inferir que o número de focos de áreas queimadas no período investigado para o ano de 2010 é melhor identificado com o RdNBR que com o dNBR. Grosso modo, pode-se perceber que o dNBR superestima a área não queimada e subestima as demais classes, deixando de fora áreas com menor densidade vegetal e que foram submetidas à eventos de queimada. Isso corrobora com a motivação de Miller e Thode (2007) quando resolveram relativizar esse índice, propondo o RdNBR. Salienta-se, porém, que alguns pixels considerados como áreas queimadas foram identificados dentro do espelho d'água do PARNA Brasília, o que indica erro na aplicação dos índices.

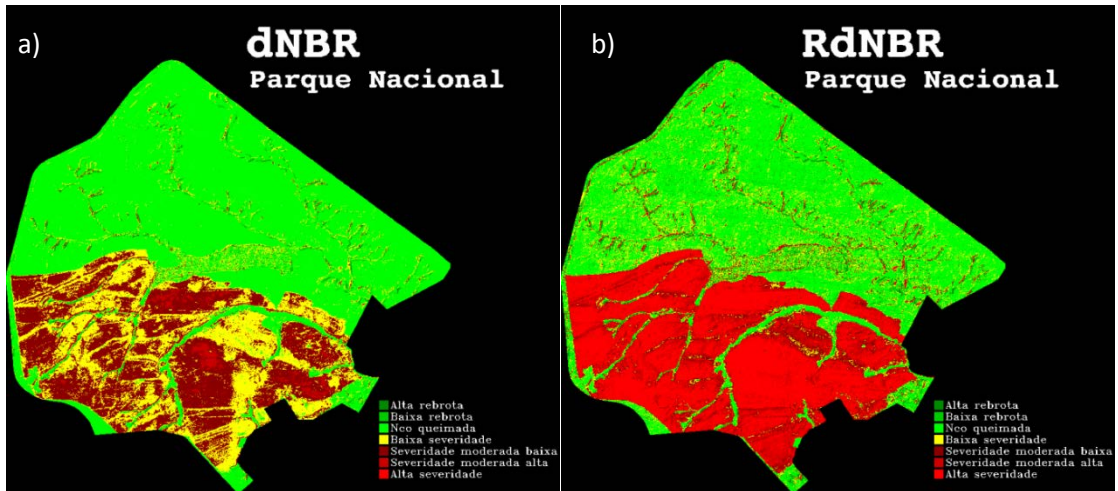


Figura 2: Severidade das queimadas no PARNA Brasília para o ano de 2010 por meio do dNBR (a) e do RdNBR (b).

Por meio dos resultados do processamento dos dados, foi possível quantificar as áreas de cada classe de dNBR e do RdNBR. As mesmas foram plotadas em gráficos apresentados na figura 3, para o ano de 2010.

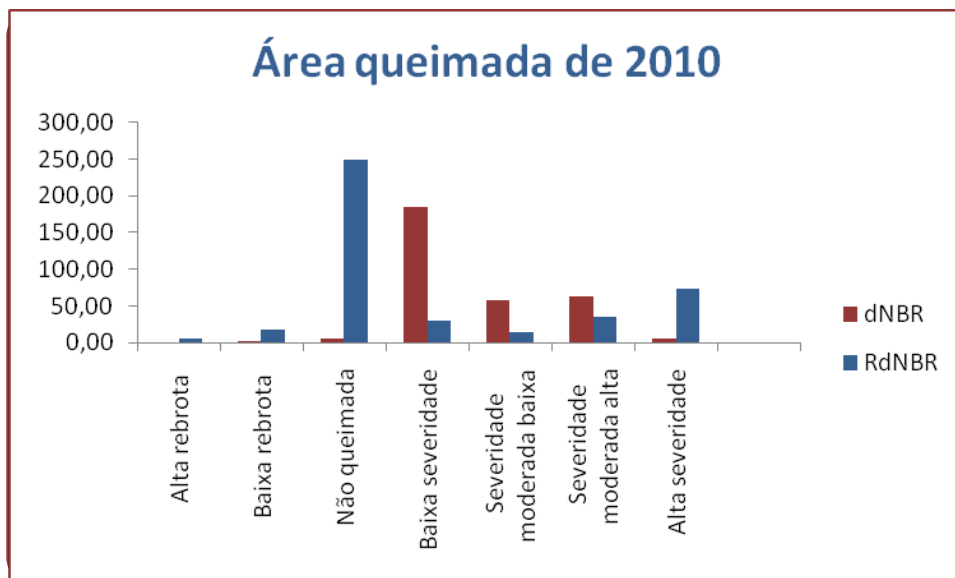


Figura 3: Percentual de área queimada do PARNA Brasília no ano de 2010 para cada classe de severidade obtidas por meio do dNBR e do RdNBR.

4.1.1 REBROTA

A análise da rebrota da vegetação do PARNA Brasília, como um todo, visualizada pelas figuras 4a e 4b, permite inferir que a capacidade de rebrota da queimada de 2010 foi bastante elevada. Percebe-se que o dNBR superestima a rebrota da área não queimada e subestima as demais classes, enquanto o RdNBR suaviza os resultados tornando mais homogêneo e realça as demais classes não vistas com o dNBR. Comparando-os, observa-se, porém, que o índice dNBR identifica como baixa rebrota onde o RdNBR quantifica como alta rebrota nas áreas anteriormente queimadas.

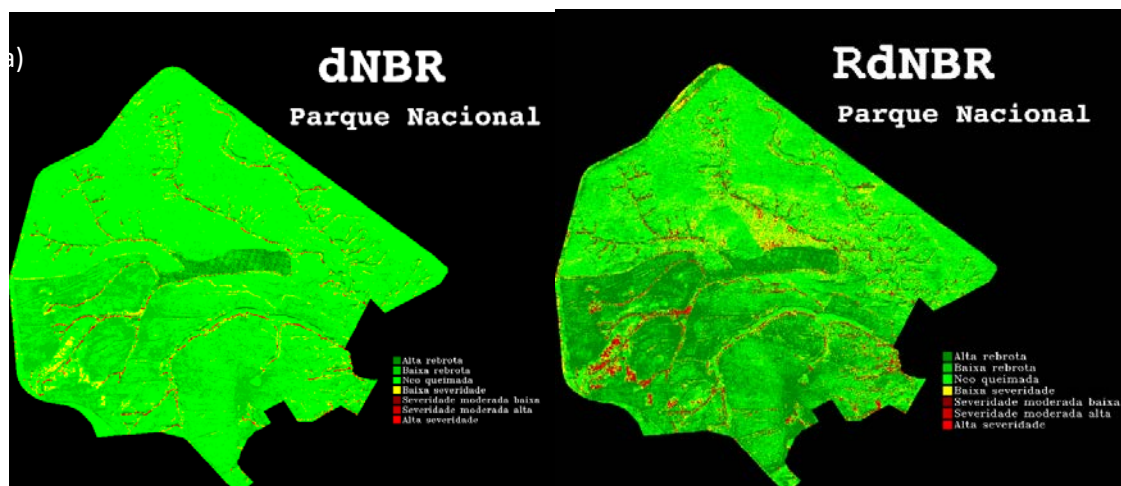


Figura 4: Capacidade de rebrota no PARNA Brasília para o ano de 2010 por meio do dNBR (a) e do RdNBR (b).

As inferências visuais discutidas anteriormente sobre as diferenças entre os índices se mantiveram nos gráficos. Avaliando os resultados obtidos com o índice dNBR, a classe de áreas não queimadas apresenta superestimação e as demais subestimação. Para o ano de 2010 (Figura 5), a classe de alta rebrota foi mais bem quantificada e visualizada pelo RdNBR, o que demonstra uma eficiência na capacidade de rebrota.

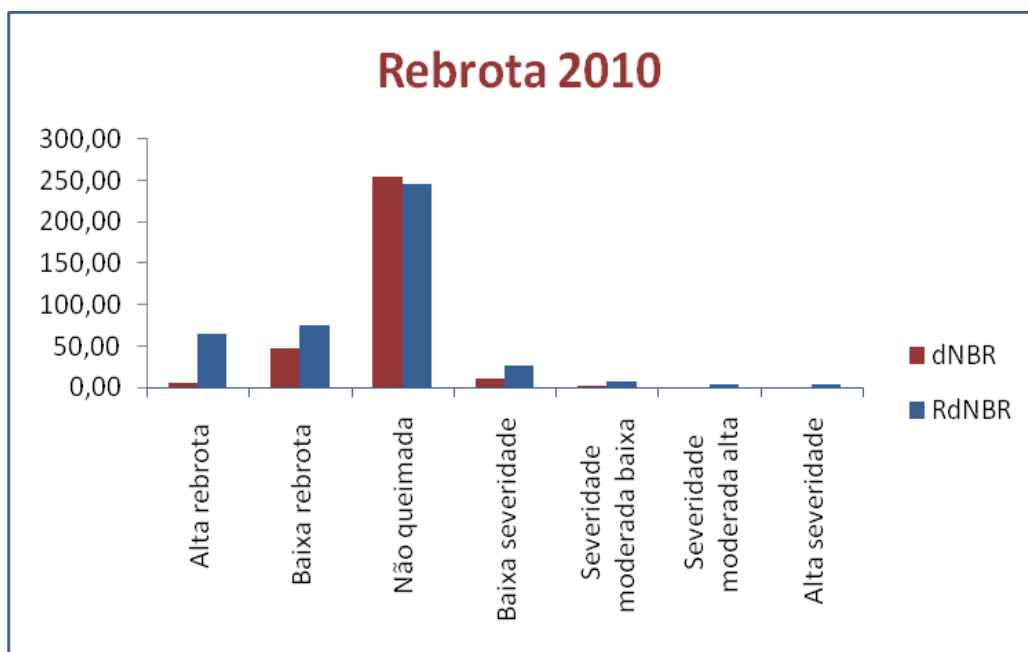


Figura 5: Porcentagem da área rebrotada do PARNA Brasília no ano de 2010 para cada tipo de índice.

4.2 Transecto

Para avaliar o comportamento do sequestro de carbono em função do grau de severidade da queimada, foi adotado um transecto passando pela área queimada. Esse transecto foi utilizado para obter os valores, pixel a pixel, do CO_2 flux antes, depois e na rebrota (Figura 6)

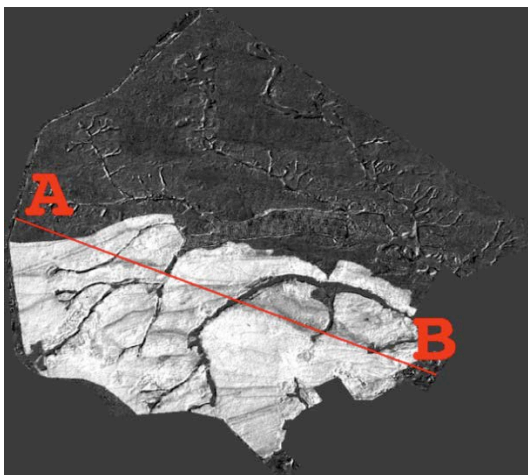


Figura 6: Transectos das Unidades de Conservação do PARNA Brasília

Destaca-se que a área queimada na figura é apresentada como área clara e a não queimada, escura, ou seja, as áreas fotossinteticamente ativas são visualizadas pelos tons mais escuros.

As áreas vegetadas possuem o CO_2 flux alto devido ao fato das plantas reterem mais gás carbônico, já as áreas queimadas possuem o CO_2 flux baixo por liberarem o gás carbônico e por perderem parte da biomassa vegetal pela ação do fogo.

4.3 Fatiamento do Sequestro de Carbono pela Severidade de Queimada

Os gráficos de baixa severidade do PARNA Brasília (Figura 7a) demonstram o CO_2 flux do pós-fogo menor que o CO_2 flux do pré-fogo, o que já era esperado devido a perda de vegetação que sequestra carbono após a queimada. Salienta-se, ainda, que alguns pixels no gráfico o sequestro florestal de carbono da rebrota é maior que o verificado nas áreas após a queimada, o que confirma a rebrota da vegetação e a eficiência do RdNBR para sua identificação como proposto pela equação.

No gráfico de severidade moderada baixa (Figura 7b), visualiza-se o comportamento do sequestro florestal de carbono antes, após e na rebrota. Em

vários pontos o CO₂flux da rebrota é maior do que o CO₂flux do pós-fogo. Comparando-se com o gráfico de baixa severidade, há uma maior quantidade desses pontos. Assim como também há um ponto (entre o pixel 462 e 474) que iguala o CO₂flux da rebrota com o CO₂flux do pré-fogo, ou seja, que recupera o que foi queimado em 15 dias naquele ponto.

Os gráficos da severidade moderada alta são apresentados na Figura 7c. Comparando os resultados da severidade moderada baixa com a severidade moderada alta observa-se os mesmos resultados, porém visualiza-se uma quantidade maior de pontos onde o CO₂flux da rebrota é maior que o CO₂flux do pós-fogo.

Já no gráfico da alta severidade, apresentado na Figura 7d, praticamente todos os pontos do CO₂flux da rebrota são maiores que o CO₂flux do pós-fogo.

Portanto, em todos os gráficos das severidades da unidade de conservação PARNA Brasília verificou que com o aumento do grau da severidade, aumenta os pontos em que CO₂flux da rebrota é maior que o CO₂flux do pós-fogo. Isso pode acontecer devido a algumas espécies do cerrado se desenvolverem somente ou melhor após o fogo.

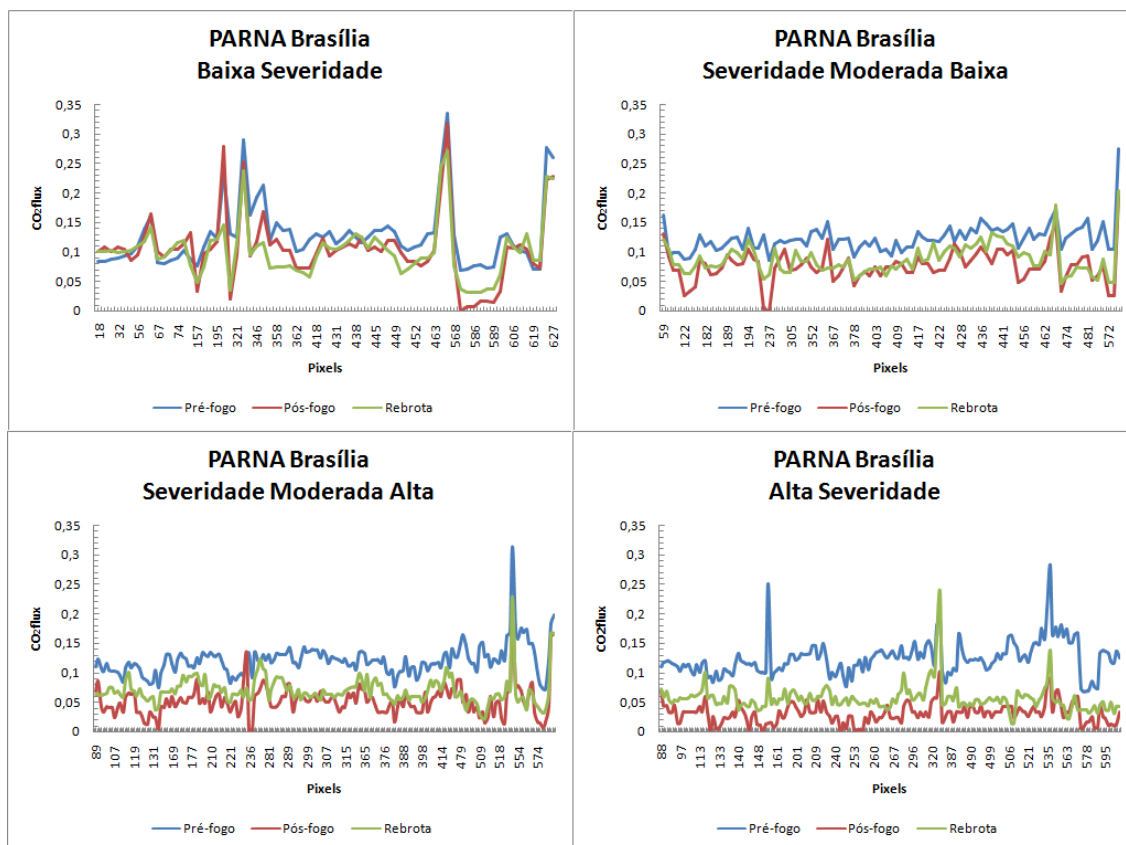


Figura 7: Resultado do fatiamento do Sequestro de Carbono (CO₂flux) pela Severidade de Queimada (RdNBR) feito por meio do transecto no PARNA Brasília.

4.4 Regressão entre Severidade de Queimada e Sequestro de Carbono

A figura 8 apresenta as regressões não lineares obtidas, bem como as funções ajustadas.

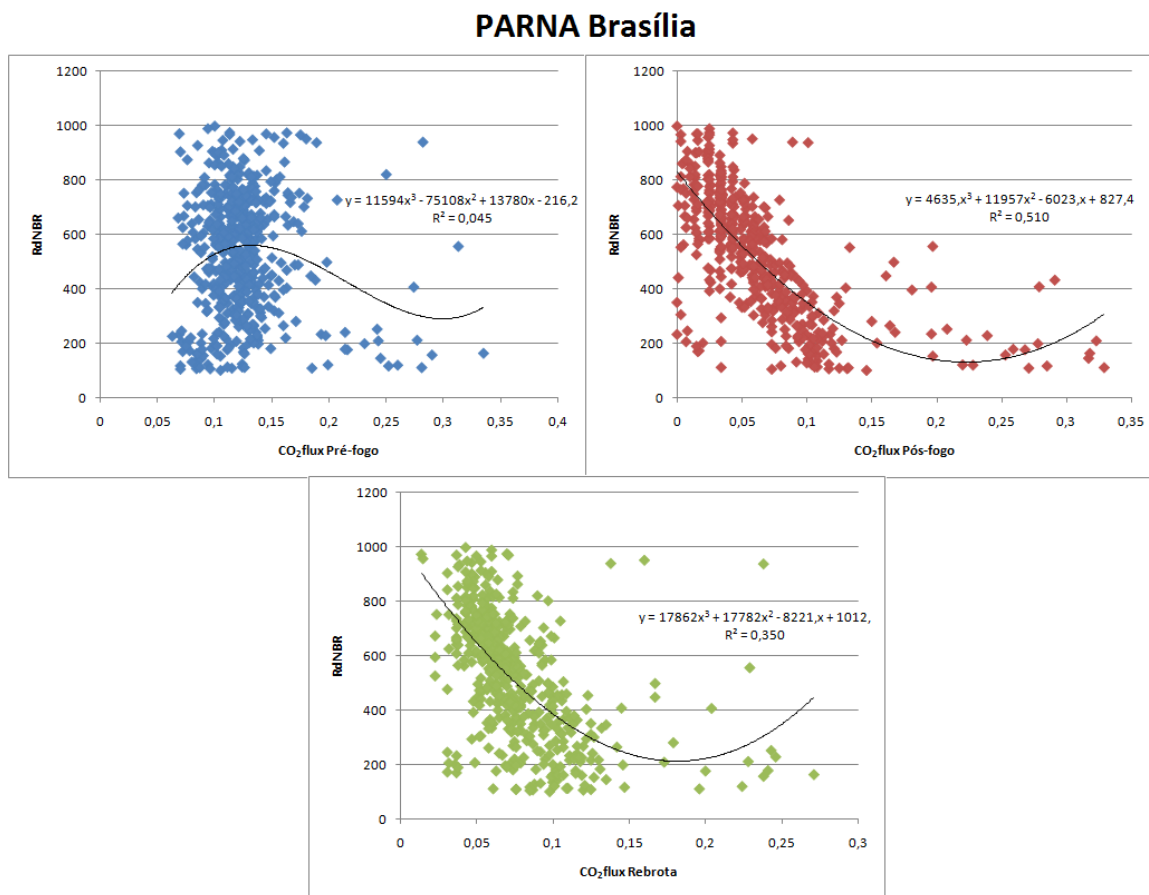


Figura 8: Regressão entre os valores dos graus de severidade de queimada obtida pelo RdNBR (variável dependente) com o CO₂flux (variável independente) pré-fogo, pós-fogo e rebrota no PARNA Brasília.

O coeficiente de determinação (R²) demonstra, nesse caso, o quanto a severidade da queimada (RdNBR) pode ser explicada pelo sequestro florestal de carbono (CO₂flux) no pré-fogo no PARNA Brasília. Essa correlação é baixíssima, o que denota que não há, nesse caso, antes da queimada, relação entre as variáveis. Isso ocorre devido à diversidade fitofisionômica do cerrado no PARNA Brasília, que apresentam, além do cerrado *stricto sensu* e da mata de galeria, as fitofisionomias de campo sujo e de campo, nas quais, nessa época de seca, a resposta espectral se mistura ao solo exposto. O sequestro de carbono nessas diversas fitofisionomias (Figura 9) é diferenciado, pois a cobertura arbórea da mata de galeria é maior que a do cerrado *sensu stricto* e conseqüentemente maior que a dos campos.

A função inversa obtida explicita que o sequestro é menor nas áreas de maior severidade denotando a biomassa seca do estrato herbáceo, que tem a água como limitante, é a porção mais severamente queimada.



Figura 9: Composição colorida R5G4B3 que ressalta a diferença entre a diversidade fitofisionômica do Cerrado no PARNA Brasília.

Já no pós-fogo, a regressão entre RdNBR com o CO₂flux apresenta um coeficiente de determinação elevado ($R^2=0,51$) apresentando relação entre as variáveis. Isso ocorre porque o fogo, principalmente nessa época seca, torna toda a diversidade fitofisionômica parecida devido ao poder devastador da queimada. Observa-se, na figura 8, que a função ajustada apresenta uma tendência inversa entre as variáveis, o que denota que quanto maior o grau de severidade, menor tende a ser o sequestro logo após a queimada, o que era de se esperar.

A relação obtida para a rebrota apresentou coeficiente de determinação menor que o pós-fogo, mas a tendência obtida com a função ajustada é a mesma. Isso é explicado porque a rebrota acontece de forma irregular, assim o R^2 diminui em relação ao pós-fogo. A capacidade da rebrota das espécies herbáceas, mesmo na época seca, é mais alta, diferente das outras espécies do cerrado mais arbustivo e arbóreo e essa irregularidade influencia tanto no CO₂flux, como no R^2 .

4.5 Método de Custo Reposição

4.5.1 VALORAÇÃO DO QUANTO SE PERDEU DE BENEFÍCIO A SOCIEDADE COM A QUEIMADA

De acordo com o Prof. Rodrigo Studart Corrêa (comunicação oral ao autor) e Durigan et al., (2011) , o custo de recuperação de 1 hectare de cerrado incluindo sua manutenção por 2 anos e mão-de-obra custa em torno de 5 a 7 mil reais. Esse valor está incluído 650 mudas por hectare e cada muda possui 20 centímetros de altura e custa em torno de 10 reais dependendo de cada espécie. Com os dados do sensoriamento remoto, sabe-se a área queimada na unidade de conservação e com isso calcula-se o custo de recuperação, que pode ser observado na tabela 4:

Tabela 4: Custo de recuperação da área queimada

Custo de recuperação	
Área/Data	RdNBR 23/9 e 9/10/10
Preço da muda	R\$ 10,00
Muda/ha	R\$ 650,00
Queimada(ha)	15209
Preço por ha	R\$ 6.500,00
TOTAL	R\$ 98.858.500,00

4.5.2 ANÁLISE DO QUANTO SE PERDEU DE CRÉDITO DE CARBONO

O preço do crédito de carbono no mercado é bastante instável e oscila diariamente. E com isso, os dados do preço do carbono catalogado no dia 21 de novembro de 2013 foi 4,47 euros e como no dia o euro estava cotado a 3,07 na Bolsa de Valores de São Paulo - Bovespa (<http://www.bovespa.com.br/>), logo o preço do crédito de carbono estava 13,735 reais a tonelada (<http://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>).

Para determinar o quanto se perde de carbono na queimada necessita da produtividade primária da vegetação, estimada pela quantidade de carbono em toneladas por hectare que a biomassa gera pela fotossíntese. De acordo com MEIRELLES & HENRIQUES, 1992, a produtividade primária de uma área do cerrado depende do seu estado atual, se foi queimado ou não. E com estudos em duas áreas de campo sujo de cerrado em Planaltina (DF), MEIRELLES & HENRIQUES observaram que a produtividade primária do cerrado em uma área queimada era maior do que uma área sem queimada. E esse valor de produtividade primária na área sem queimada era de 108 g.m^{-2} e $1,08 \text{ t.ha}^{-1}$ convertendo para tonelada por hectare.

Portanto, obtendo a área queimada, o preço da tonelada de carbono no mercado de crédito e a sua produtividade primária, descobre-se o quanto se perde de biomassa pela queimada. Isso pode ser observado na tabela 5.

Tabela 5: Crédito de carbono perdido com o fogo

Área/Data	Perdeu com o fogo
Área(ha)	15209
Preço(C)	R\$ 13,735
PP(t/ha)	1,08
TOTAL	R\$ 225.607,26

4.5.3 QUANTIFICAÇÃO DO CO₂ LIBERADO PARA A ATMOSFERA COM A QUEIMA DE 1 HECTARE (HA) DE CERRADO

Para a quantificação do gás carbônico liberado durante a queima da área do PARNA Brasília, necessita de dados sobre o quanto é liberado de CO₂ na queima de 1 hectare de cerrado. E de acordo com MIRANDA et al., 1996 (FALEIRO & NETO, 2008) os valores estimados de biomassa consumida é entre $5,4 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e $9,2 \text{ Mg.ha}^{-1}$ que significa o mesmo que t.ha^{-1} e foi utilizado a média desses valores. O resultado do CO₂ liberado na área do PARNA Brasília pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6: CO₂ liberado com a queimada

CO₂ liberado com a queima	
Área/Data	Perdeu com o fogo
Rebrota(ha)	15209,00
Preço(C)	13,735
PP(t/ha)	7,3
TOTAL	R\$ 1.524.937,99

Para verificar o quanto se perde de crédito de carbono com a queima e durante ela, deve-se somar o quanto de CO₂ foi liberado com a queima com o quanto se perdeu em crédito de carbono, ou seja, a adição dos valores constantes da tabela 6 com os da tabela 5. O resultado é observado na tabela 7.

Tabela 7: Carbono total perdido com a queima

C total perdido com a queima
R\$ 1.750.545,25

4.5.4 VERIFICAÇÃO SE OS CRÉDITOS DE CARBONO COBREM O CUSTO DE REPOSIÇÃO OU SE VALE A PENA DEIXAR RECUPERAR NATURALMENTE

A diferença da tabela 8 com a tabela 5 se verifica na produtividade primária (PP), pois como dito anteriormente, de acordo com o estudo feito por MEIRELLES & HENRIQUES (1992), a PP de uma área queimada é desigual a uma área sem queimada. E para esse tópico, utilizou-se a PP de uma área queimada, pois se deseja calcular a capacidade de rebrota após 1 ano hidrológico ter ocorrido a queimada. Esse valor de PP na área queimada no Cerrado é de 1,73 t.ha⁻¹, já convertido para toneladas por hectare.

Tabela 8: Produção de carbono logo após o fogo

Área/Data	Produção após o fogo
Área(ha)	13840
Preço(C)	R\$ 13,735
PP(t/ha)	1,73
TOTAL	R\$ 328.859,85

Observando a tabela 5 e 8, pode-se averiguar que o crédito de carbono foi recuperado naturalmente, pois após 1 ano hidrológico ultrapassou o estoque de carbono calculado logo após o fogo.

Tabela 9: Produção de crédito de carbono logo após o fogo e após 1 ano hidrológico na alta rebrota

Produção de crédito de carbono		
Área/Data	Produção após o fogo	Produção após 1 ano hidrológico
Alta rebrota	64139	121582
Preço(C)	13,735	13,735
PP(t/ha)	1,73	1,73
TOTAL	R\$ 1.524.042,06	R\$ 2.888.976,77

Comparando-se com a área logo após a queimada (Figura 4b) e após 1 ano hidrológico (Figura 10), observa-se que a quantidade de área classificada como de alta rebrota após 1 ano é significativamente maior que a área logo após o fogo (Tabela 9). Isso pode se verificar devido ao alto poder da rebrota de grande parte das espécies típicas do bioma cerrado.

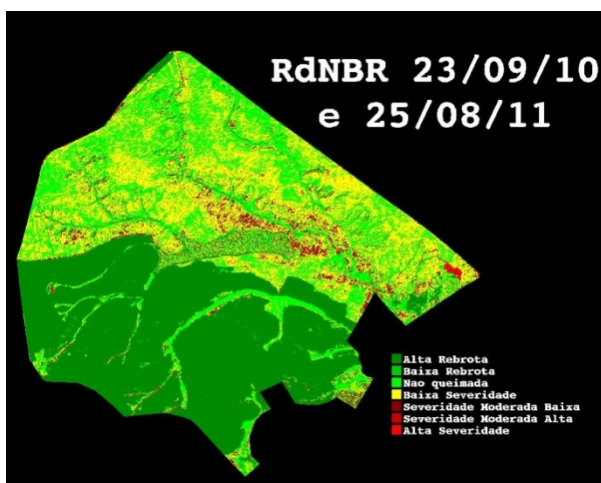


Figura 10: RdNBR rebrota após 1 ano hidrológico do fogo

Comparando todos os resultados obtidos, pode-se observar na tabela 8 que a produção de carbono estocado na rebrota é de R\$ 2.888.976,77 e que o carbono total perdido na queima é de R\$ 1.750.545,25 (Tabela 7). Com isso, infere-se que o crédito de carbono perdido foi recuperado naturalmente após 1 ano hidrológico, devido à alta capacidade de rebrota do cerrado. E, ainda, deduz-se que a área antes da queimada estava estável em relação ao crédito de carbono visto que o fluxo ocorre predominantemente durante o crescimento da biomassa.

O custo de recuperação observado na tabela 3 é extremamente alto se comparado ao da recuperação natural. Já que o crédito de carbono recuperado naturalmente é maior que o total perdido na queima, vale mais a pena deixar a vegetação se recuperar naturalmente, por meio de sua capacidade de rebrota, do que implantar projeto de recuperação baseado no plantio de mudas nativas.

5. CONCLUSÃO

O índice relativo (RdNBR), proposto por MILLER & THODE (2007), permite identificar áreas de diferentes gradações de severidade que não aparecem nos dados obtidos pelo dNBR. O modelo do dNBR mostrou-se inapropriado para a quantificação de severidade de queimadas pelos problemas de superestimação de um classe e de subestimação ou até de omissão de classes de maior severidade.

Ambos os índices apresentaram resposta de áreas queimadas dentro do espelho d'água do Parque Nacional, o que indica erro na aplicação dos índices. Sugere-se a aplicação de uma máscara para obliterar esses pixels indevidos.

O índice RdNBR mostrou-se bastante eficiente para medir a biomassa queimada em diferentes coberturas vegetais, independente de sua densidade e do grau de severidade da queimada, de forma mais uniforme e com maior precisão, principalmente em áreas mapeadas como de alta severidade.

Visto que o RdNBR é o índice mais apropriado para quantificação da severidade, a correlação entre severidade e sequestro de carbono foi realizada por meio dele e do índice CO₂flux. Os resultados dessa relação foram satisfatórios para o ano de 2010, pois se observou nos gráficos o que já era esperado, isto é, que o sequestro de carbono é menor nas áreas com alta severidade, pois a biomassa seca do estrato herbáceo é maior nessas áreas.

Visualizou-se que em todos os gráficos de cada severidade estudada (baixa, moderada baixa, moderada alta e alta), existem pixels em que o CO₂flux da rebrota é maior do após o fogo. Com isso, pode se concluir que o fogo não prejudica a rebrota no cerrado, isso se deve a alta taxa de rebrota de algumas espécies que precisam ser mais estudadas e identificadas. Essas espécies provavelmente são herbáceas que possuem o alto poder de rebrotar se comparando com as espécies do cerrado *sensu stricto* e da mata galeria que são espécie de maior porte.

Em relação ao método de valoração aplicado ele não representa o valor integral da floresta. Pois, para SANT'ANNA & NOGUEIRA (2010) a floresta não é

unicamente composta de árvores e sim de toda uma biodiversidade e um ecossistema e, quando destruído, é impossível retornar ao que era antes. E principalmente sendo uma queimada cujos efeitos são diversos para a biodiversidade da fauna e da flora da região.

Com isso, a queimada pode acarretar efeitos negativos na diversidade fitofisionômica do cerrado, pois a eficiência da rebrota se deve primeiramente a alta taxa de rebrota das herbáceas e que pode afetar a biodiversidade da região. A rebrota deve ser mais estudada em campo e, com isso, observar quais espécies são favorecidas pelo fogo e se ele traz algum efeito para a diversidade do cerrado.

Não se pode esquecer que o ecossistema busca sempre um equilíbrio para flora e fauna e que a vegetação tem um papel essencial para a fauna em relação ao *habitat*, sobretudo, na busca de alimentos. A queimada é um fenômeno em que ocorre fuga de animais para outras redondezas, buscando refúgio em outras áreas que possuem predadores e competição em busca de alimentos.

Novos estudos devem ser incentivados para mapear espacialmente o tamanho e o grau de severidade da queimada e para a recuperação e compreensão dos padrões de paisagem criados pelo fogo, bem como no monitoramento da rebrota das áreas afetadas por incêndios florestais e seus verdadeiros efeitos sobre a flora e fauna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU SÁ, T.D.; KATO, O.R.; CARVALHO, C.J.R; FIGUEIREDO, R. O. **Queimar ou nãoqueimar? De como produzir na Amazônia sem queimar.** Revista USP, 2007.

ABREU, T.L.S. **Efeito de Queimadas sobre a Comunidade de Aves de Cerrado.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 2000.

ALLEN, J.L.; SORBEL, B. **Assessing the differenced Normalized Burn Ratio's ability to map burn severity in the boreal forest and tundra ecosystems of Alaska's national parks.** International Journal of Wildland Fire. 2008.

ALVARENGA, A.P.; CARMO, C.A.F.S. **Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural.** Viçosa, Minas Gerais. Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.

ARMANDO, M.S. **O impacto do fogo na rebrota de algumas espécies de árvores do cerrado.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 1994.

AUGUSTO, M.M.; MESQUITA, I.M. **III Fórum de Debates sobre o Plano de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do DF.** Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2000.

BAPTISTA, G. M. M. **Ilhas Urbanas de Calor. Scientific American Brasil: Aula Aberta** 7, v. 2, p. 24-31, 2010.

BAPTISTA, G. M. M. **Mapeamento do Seqüestro de Carbono e de Doms Urbanos de CO₂ em Ambientes Tropicais, por meio de Sensoriamento Remoto Hiperespectral.** Geografia (Rio Claro), v. 29, p. 189-202, 2004.

BAPTISTA, G.M.M. **Validação da modelagem de seqüestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados aviris e hyperion.** Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, p. 1037-1044. 2003.

BAPTISTA, G.M.M.; MUNHOZ, C.B.R. **Comportamento do seqüestro florestal de carbono, do conteúdo de CO₂ atmosférico e do conteúdo de umidade da vegetação no Pantanal de Nhecolândia, MS, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE, p. 1071-1078. 2009.

BRASIL. Decreto Nº 24.149, de 15 de outubro de 2003.

BRASIL. Decreto Nº 24.149, de 15 de outubro de 2003. **Define as poligonais do Parque Nacional de Brasília - PNB, e dá outras providências.** 2003.

BRASIL. Decreto Nº 241, de 29 de novembro de 1961.

BRASIL. Decreto No 241, de 29 de novembro de 1961. **Cria o Parque Nacional de Brasília, no Distrito Federal, e dá outras providências.** 1961.

BRASIL. Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima**. Brasília, dezembro de 2008.

BRASIL. Lei Nº 11.285, de 8 de março de 2006.

BRASIL. Lei Nº 11.285, de 8 de março de 2006. **Altera os limites do Parque Nacional de Brasília**. 2006.

Brasil. Resolução Conama nº 11, de 14 de dezembro de 1988.

BRASIL. Resolução Conama nº 11, de 14 de dezembro de 1988. **Áreas Protegidas: Unidades de Conservação**.1988.

BUSTAMANTE, M.M.C.; OLIVEIRA, E.L. **Impactos das Atividades Agrícolas, Florestais e Pecuárias nos Recursos Naturais**. "In": Faleiro, F.G.; Neto, A.L.F. Savana: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina DF. Embrapa Cerrados. 2008.

CANAVESI, V.; PONZONI, F.J.; VALERIANO, M.M. **Estimativa de Volume de madeira em plantios de Eucalyptus spp. utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.34, n.3, p.539-549. 2010.

Cardozo, F.S.; Martins, F.S.R.V.; Pereira, L.O.; Sato, L.Y.; Moura, Y.M.; Pereira, G.; Shimabukuro, Y.E. **Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais NDVI e NDBR**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7952. 2011.

CASTRO-NEVES, B.M. **Efeito de queimadas em áreas de cerrado stricto sensu e na biomassa de raízes finas**. Dissertação de Doutorado. Universidade de Brasília. 2007.

CIRNE DA SILVA, P. **Efeitos do fogo na regeneração de kielmeyeracoriacea (Spr.) Mart. (Guttiferae) em áreas de cerrado sensu stricto: mecanismos de sobrevivência e época de queima**. Dissertação de Doutorado. Universidade de Brasília. 2008.

CIRNE, P.; SCARANO, F.R. **Rebrotamento após o fogo de andiralegalis (leguminosae) em restinga fluminense**. In: MIRANDA, H.S.; SAITO, C.H.; DIAS, B.F.S. Anais do Simpósio Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. - 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. 1996.

Comunicação oral ao Professor Rodrigo Studart Corrêa

DIAS, R.A. **Modelagem dos estoques de C do solo sob diferentes coberturas na região do cerrado**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. 2010.

DURIGAN, G.; A. C. G.; MELO, A.C.G.; MAX, J.C.M.; BOAS, O.V.; CONTIERI, W.A.; RAMOS, V.S. **Manual para recuperação da vegetação de cerrado**. 3ª Edição. Revisada e Atualizada. Março 2011.

ENVI. **AtmosphericCorrection Module: QUAC and FLAASH User's Guide**. Version 4.7. Powered by IDL. 2009.

FIEDLER, N. C.; AZEVEDO, I. N. C.; REZENDE, A. V.; MEDEIROS, M. B.; VENTUROILI, F. **Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de cerrado sensu stricto na fazenda Água Limpa-DF**. Rev. Árvore, Viçosa, v. 28, n. 1, 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622004000100017&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 25 out. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000100017>.

GAMON, J. A.; SERRANO, L.; SURFUS, J.S. **The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels**. Oecologia, vol. 112, pp. 492- 501, 1997.

HOROWITZ, C.C.; MARTINS, C.R.; MACHADO, T. **Espécies exóticas arbóreas, arbustivas e herbáceas que ocorrem nas zonas de uso especial e de uso intensivo do parque nacional de Brasília: diagnósticos e manejo**. Ministério do Meio Ambiente. 2007.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Editora Parêntese. 2011.

KEY, C.H.; BENSON, N.C. Landscape Assessment (LA). In '**FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System**'. (Eds DC Lutes, REKeane, JF Carati, CH Key, NC Benson, LJ Gangi) USDA Forest Service, Rocky Mountains Research Station General Technical Report. 2006.

LEITE, D. L. P. **Efeitos do fogo sobre a taxocenose de lagartos em áreas de cerrado sensu stricto no Brasil central**. 2007. 126 pp., Dissertação de Mestrado em Biologia Animal, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

LEITE, L.L. **Densidade global e infiltração de água no solo em área de cerrado submetida à queimada controlada no Distrito Federal, Brasil**. In: MIRANDA, H.S.; SAITO, C.H.; DIAS, B.F.S. Anais do Simpósio Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. - 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. 1996.

MATTOS, K.M.C.; MATTOS A. **Valoração econômica do meio ambiente: uma abordagem teórica e prática**. Editora Rima. 2004.

MEIRELLES, M.L.; HENRIQUES, R.P. **Produção primária líquida em área queimada e não queimada de campo sujo de cerrado (Planaltina - DF)**. Acta Botanica Brasilica. 1992.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. **Introdução Ao Processamento De Imagens De Sensoriamento Remoto**. BRASÍLIA. UNB e CNPQ. 2012.

MILLER, J.D.; THODE, A.E. **Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)**. Remote Sensing of Environment. 2007.

Miranda, H.S.; ROHA e SILVA, E.P.; Miranda, A.C. **Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo**. In: MIRANDA, H.S.; SAITO, C.H.; DIAS, B.F.S. Anais do Simpósio Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. - 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. 1996.

MIRANDA, M.I.; KLINK, C.A. **Colonização de campo sujo de cerrado com diferentes regimes de queima pela gramínea *Echinolaena inflexa* (POACEAE)**. In: MIRANDA, H.S.; SAITO, C.H.; DIAS, B.F.S. Anais do Simpósio Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. - 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. 1996.

MURAKAMI, E.A. e KLINK, C.A. **Efeito do fogo na dinâmica de crescimento e reprodução de *Echinolaena inflexa* (Poiret) Chase (Poaceae)**. In: MIRANDA, H.S.; SAITO, C.H.; DIAS, B.F.S. Anais do Simpósio Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. - 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. 1996.

NEPSTAD, D.C.; MOREIRA, A.; ALENCAR, A.A. **A Floresta em chamas: Origens, Impactos e Prevenção do fogo na Amazônia**. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil. Brasília, Brasil. 1999.

NOGUEIRA, J.M.; MEDEIROS, M.A.A.; ARRUDA, F.S.T. **Valoração econômica do meio ambiente: ciência ou empiricismo?** Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.17, n.2, p.81-115, maio/ago. 2000.

NOGUEIRA, J.M.; M. A. A. DE MEDEIROS. **Quanto vale aquilo que não tem valor? Valor de existência, economia e meio ambiente**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.16, n.3, p.59-83, set./dez. 1999.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª edição. Editora Blucher. 2010.

PALERMO, A. C.; MIRANDA, H. S. **Efeito do fogo na produção de frutos de *Qualea parviflora* Mart. (Vochysiaceae) em cerrado sensu stricto**. Revista Árvore (Impresso), v. 36, p. 685-693, 2012.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto da vegetação**. 2ª edição. Oficina de textos. 2012.

POVH, F.P.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J.V. **Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.43, n.8, p.1075-1083. 2008.

Preço do Carbono. Disponível em: <http://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>. Acesso no dia 20/11/2013 às 15:20.

Preço do Euro. Disponível em: <http://www.bovespa.com.br/>. Acesso no dia 20/11/2013 às 15:20.

RAHMAN, A.F.; GAMON, J.A.; FUENTES, D.A.; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. **Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS**

imagery.In: AVIRIS Workshop. Proceedings.Anais... JPL/NASA, Pasadena, Califórnia, 2000.

RAHMAN, A.F.;JOHN A. GAMON, J.A.;FUENTES, D.A.;ROBERTS, D.A.; PRENTISS, D. **Modeling spatially distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery.**JournalofGeophysical Research, Vol. 106, Nº. D24, PAGES 33,579-33. 2001.

REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Sequestro de carbono uma experiência concreta.** 2ª edição revisada e ampliada. Instituto ecológica.2001.

RODRIGUES, W. **Valoração Econômica dos Impactos Ambientais de Tecnologias de Plantio em Região de Cerrados.** RER, Rio de Janeiro, vol. 43, nº 01. 2005.

RODRIGUES, W.; NOGUEIRA, J.; IMBROISI, D. **Avaliação Econômica Da Agricultura Sustentável: O Caso Dos Cerrados Brasileiros.** Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.18, n.3, p.103-130, set./dez. 2001.

ROSEMBACK, R; FRANÇA, A.M.S.; FLORENZANO, T.G. **Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil. INPE, p. 1075-1082. Abril, 2005.

ROUSE, J. W.; HAAS, R.H., SCHELL, J.A.; DEERING, D.W., **“Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains withERTS”.** In: Proceeding of ERTS- 1 Symposium. Anais... NASA, United States, n. 3. p. 309- 317, 1973.

SANT'ANNA, A. C.; NOGUEIRA, J.M. **Valoração Econômica Dos Serviços Ambientais De Florestas Nacionais.**Revista de Administração e Negócios da Amazônia, v.2, n.1, jan/abr. 2010.

SEIFFERT, M.E.B. **Mercado de carbono e protocolo de quioto oportunidades de negócio na busca da sustentabilidades.** Editora Atlas. São Paulo. 2009.

Silva Junior, Manoel Cláudio da; Felfili, Jeanini Maria. A vegetação da Estação Ecológica de Águas Emendadas. Secretaria de Meio Ambiente Ciência e Tecnologia do Distrito Federal. Brasília, 1996.

SILVA, S. C. P.; BAPTISTA, G. M. M. **Variações na Modelagem do Sequestro Florestal de Carbono por meio de Dados Hiperespectrais na Floresta Nacional do Tapajós, Pará.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Brasil. 2013.

SULSOFT. Disponível em: <http://www.envi.com.br/index.php/envi/novidades>. Acesso em: 15/11/2013.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. M. M. Quantificação do Grau de Severidade de Queimada em Unidades de Conservação no Distrito Federal por meio dos Índices Espectrais dNBR e RdNBR. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. v. 1. p. 6534-6540.

UNESCO. **Vegetação do Distrito Federal: tempo e espaço.** – 2.ed. – Brasília, 2002.80p.

VELASCO,G.D.N.; POLIZEL, J.L.; COLTRI, P.C.;LIMA, A.M.L.P; FILHO, D.F.S. **Aplicação do índice de vegetação NDVI (normalizeddifferencevegetation index) em imagens de alta resolução no município de são paulo e suas limitações.** Revista Da Sociedade Brasileira De Arborização Urbana, Volume 2, Número 3. 2007.