



Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO
AMBIENTAL**

**Pastagem ou Campo?
Diferenciação por Espectro Temporal Reunido**

YURI BOTELHO SALMONA

Monografia de Conclusão de
Curso de Especialização

Orientador: **Prof. Dr. Edson Eyji Sano**

Brasília - DF

2016



Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO
AMBIENTAL**

**Pastagem ou Campo?
Diferenciação por Espectro Temporal Reunido**

YURI BOTELHO SALMONA

Monografia de Conclusão de
Curso de Especialização

Orientador: **Prof. Dr. Edson Eyji Sano**

Brasília - DF

2016



Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

**Pastagem ou Campo?
Diferenciação por Espectro Temporal Reunido**

Yuri Botelho Salmona

Monografia de Conclusão de
Curso de Especialização

Orientador: **Prof. Dr. Edson Eyji Sano**

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Tati de Almeida _____

Dr. Gervasio Barbosa Soares Neto _____

**BRASÍLIA – DF
2016**

A 50% do Cerrado.

AGRADECIMENTOS

A World Wide Fund for Nature – WWF, pela bolsa Prince Bernhard, sem a qual não seria possível realizar o curso.

Ao Instituto de Geociências pela dedicação e empenho.

Ao meu orientador Edson Sano, pela paciência e a liberdade que me proporcionou.

E a minha família pelo apoio e amor.

RESUMO

A maior parte das mudanças de uso do solo são decorrentes da supressão de cobertura vegetal nativa para pastagem. No entanto, costuma ser difícil diferenciá-las em imagens de satélite com base em suas respostas espectrais. Esse desafio é imposto em parte devido à semelhança nas assinaturas espectrais dessas coberturas e à heterogeneidade de seus componentes, o que é parcialmente contornado quando se comparam imagens de períodos secos e períodos úmidos, quando as respostas dessas coberturas se diferem sutilmente (fenologia). O presente estudo propôs testar a eficiência em diferenciar Pastagem de Formações Campestres Nativas com base na resposta espectral reunindo, em uma só imagem, bandas do período seco com bandas do período úmido, aqui chamados de Espectro Temporal Reunido (ETR). Esse método foi testado utilizando imagens do sensor OLI do Distrito Federal e comparado com a classificação de imagens do período de maio e de setembro. A validação mostrou que a classificação com base no Espectro Temporal Reunido é mais acurada que as classificações com base nas imagens de maio e setembro, tendo a mais baixa taxa de erro entre as classes alvo e demais classes, com índice Kappa de 0,81. Portanto, o uso de Espectro Temporal Reunido tem potencial como subsídio de classificações em ambientes com grande sazonalidade e alvos com aparente resposta espectral semelhante.

Palavras Chaves: Espectro Temporal Reunido, pastagem, campo, Cerrado, classificação.

ABSTRACT

Most land use changes are due to the suppression of native vegetation cover for grazing. However, it is often difficult to differentiate them in satellite images based on their spectral response. This challenge is imposed partly because of the similarity in the spectral signatures of these covers and the heterogeneity of its components, which is partially bypassed when comparing images of dry and wet periods when the answers to such coverage differ subtly (phenology). This study aimed to test the efficiency of differentiating grassland formations Grass Native based on spectral response gathering, in a single image, dry period of the bands with bands of the wet season, here called Temporal Spectrum Reunited (ETR). This method was tested using images of OLI sensor Federal District and compared with the image classification for the period of May and September. The validation showed that the classification based on the Temporal Spectrum Reunited is more accurate than the ratings based on May and September images, having the lowest error rate among target classes and other classes with Kappa index of 0.81. Therefore, the use of Temporal Spectrum Reunited has potential as ratings benefit in environments with high seasonality and targets with apparent similar spectral response.

Key Words: Temporal Spectrum Reunited, grassland, field, Cerrado, classification.

SUMARIO

INTRODUÇÃO	10
MATERIAL E MÉTODO.....	13
RESULTADOS.....	17
DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÃO.....	26
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	27

INTRODUÇÃO

As mudanças de uso e cobertura do solo têm afetado significativamente aspectos-chave dos sistemas terrestres (Lamdin et al., 2001), alterando serviços ecossistêmicos necessários à humanidade (Vitousek et al., 1997). As atividades agropecuárias são as que mais provocam mudanças na cobertura do solo; até 1990, cerca de 34% da cobertura terrestre não oceânica era ocupada por agricultura ou pecuária. As savanas são especialmente afetadas, tendo sido convertidas em áreas de cultivo e pastagem à metade de suas áreas até 1990 (Goldewijk, 2001).

O Cerrado, a savana mais biodiversa, com cerca de 5% da riqueza biológica global, (Alho e Martins, 1995), vem sendo desmatado a taxas superiores às da Amazônia (INPE, 2010, CSR/IBAMA, 2011b), já tendo perdido cerca de metade de sua área de vegetação nativa, principalmente para agropecuária (Ibama/CSR, 2011). No entanto, só recentemente vem recebendo investimento público para o seu monitoramento sistemático e contínuo, enquanto a Amazônia possui dois sistemas públicos de monitoramento, o PRODES (desde 1988) para cômputo anual de desmatamento e o DETER (desde 2004) que indica mensalmente as áreas de floresta desmatada. Já o Cerrado teve sua área mapeada via satélite pela primeira vez em 2002, pela Embrapa/UFU/UFG, dentro da iniciativa PROBIO, tendo sido feitas atualizações em 2008, 2009 e 2010. Mais recentemente, foi divulgado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) o programa TerraClass Cerrado que mapeou o uso e a cobertura do bioma com base em imagens de 2013.

Além da acelerada taxa de conversão, o Cerrado tem se mostrado muito complexo de ser monitorado/mapeado, devido às suas características estruturais e fenológicas (Ratana et al., 2005), enquanto a cobertura vegetal da floresta amazônica tem grandes áreas cobertas por densos dosséis, fazendo com que a resposta espectral seja predominantemente de vegetação. No Cerrado, isso já não ocorre. Por ser um mosaico vegetal heterogêneo, com predomínio de formações campestres e arbóreas (Ratter *et al.*, 1997; Furley, 1999) (de baixo porte e menos frondosas), as respostas espectrais tendem a ter uma forte interferência do componente solo (Ferreira, 2004). Se na Amazônia há uma relevante diferença espectral de uma área recém-desmatada em relação a vegetação que ali estava, no Cerrado esse efeito tende a ser bem mais sutil.

Cerca de 30% da área desmatada no Cerrado é ocupada por pastagens (MMA, 2015) e distinguir formações campestres e arbustivas nativas de pastagem tem sido um dos maiores desafios no mapeamento do Cerrado (Ratana *et al.*, 2005). Sendo as formações campestre e arbustivas nativas compostas predominantemente por gramíneas tal qual as áreas de pastagem, que são recobertas por brachiarias, ambas as coberturas têm respostas espectrais e padrões por vezes semelhantes.

No entanto, as oscilações sazonais nas respostas espectrais na cobertura vegetal do Cerrado, em alguns casos, têm colaborado para a distinção entre essas classes. Trabalhos anteriores observaram a senescência e a turgescência das folhas de coberturas de Cerrado e vegetações não nativas de acordo com a sazonalidade pluviométrica (Ferreira et al., 2004; Ratana et al., 2005; Ferreira et al., 2013; Borges e Sano, 2014; Trancoso et al., 2015). Segundo esses estudos, as pastagens tendem a responder mais rápida e intensamente à umidade trazida pelo período de chuva do que as formações nativas (Ratana et al., 2005).

Essa diferenciação na resposta espectral das coberturas vegetais no decorrer da passagem das estações se deve às alterações nos componentes internos das folhas das plantas, em especial, à quantidade de água armazenada, ou seja, a fenologia de cada espécie. Enquanto folhas saudáveis mantêm maior quantidade de pigmentos que absorvem radiação na região do visível, fazendo com que a planta absorva menos nesse comprimento de onda, como é o caso da clorofila e o comprimento de onda do verde. Já plantas sob estresse hídrico perdem esses pigmentos, refletindo mais os comprimentos de onda do visível, especialmente o vermelho, deixando as folhas com aspecto mais amarelado. Ocorre algo similar quanto à falta d'água no interior da planta, já que há absorção da radiação nos comprimentos de onda do infravermelho médio (1,1 μm e 3,2 μm) quando a planta mantém água, com destaque de absorção para os comprimentos 1,3 μm e 3,2 μm . A mudança da relação ar-água interna da folha altera a estrutura celular e disposição dos cloroplastos no mesófilo, enquanto a absorção do infravermelho próximo (0,72 μm – 1,1 μm) é baixa (e constante), com grande espalhamento interno em folhas saudáveis; em folhas estressadas, esses comprimentos de onda têm maior absorção e menor espalhamento (Gates *et al.*, 1965; Ponzoni *et al.*, 2012). Esses fenômenos podem ser observados na figura 1.

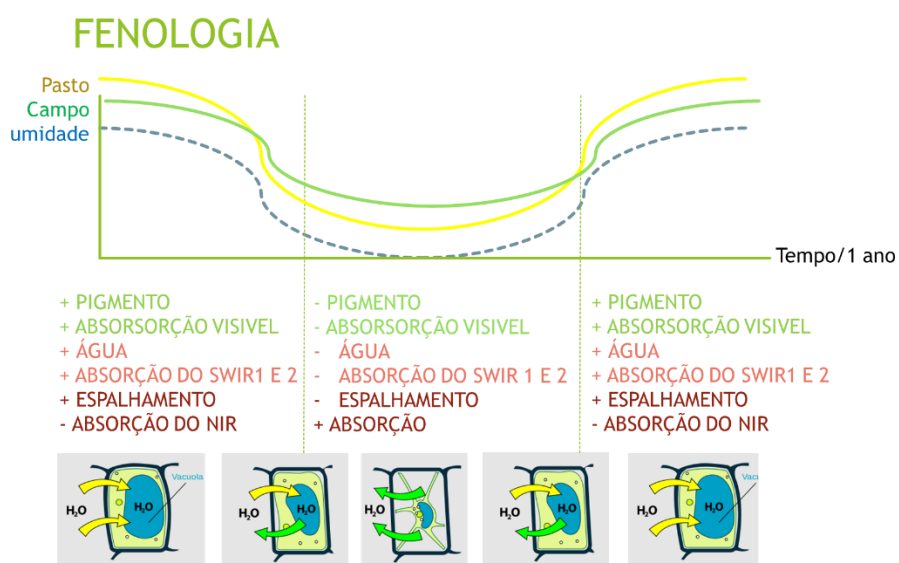


Figura 1 - fenologia das células vegetais com a oscilação da umidade e a respectiva resposta dos comprimentos de onda.

Mesmo encontrando respostas típicas de cada tipo de cobertura, ainda assim haveria confusões entre as classes espectralmente próximas, devido à heterogeneidade dos elementos (solo, relevo, estratos vegetacionais, etc) que compõem essas coberturas, o que gera grande desvio-padrão das respostas espectrais dentro de cada classe, como observado em outros estudos tais como Borges e Sano (2014) e Ratana *et al.* (2005). Isso torna indispensável uma avaliação discricionária do interprete em parte do mapeamento.

O trabalho do intérprete pode ser minimizado caso a classificação consiga captar melhor as diferenças entre as classes visualmente semelhantes, como pastagem e campo. Para tanto, é desejável reunir o máximo de variáveis capazes de distingui-las. Neste contexto, o presente estudo buscou investigar o limite de discriminação entre pastagem e formações campestres nativas de Cerrado (campo), baseado na reunião de bandas do período seco com bandas do período úmido em uma única imagem, aqui chamado de Espectro Temporal Reunido (ETR). A hipótese deste trabalho é a de que as respostas espectrais consequentes das diferenças fenológicas das principais classes de uso e cobertura do Cerrado, em especial a pastagem e as formações campestres de Cerrado, registradas no Espectro Temporal Reunido, subsidiam mais satisfatoriamente sua discriminação automática do que imagens do período seco ou do período úmido analisadas separadamente. Para testar essa hipótese, optou-se por usar o território do Distrito Federal (DF) como área de estudo, tendo em vista o maior e mais preciso conhecimento de campo deste território.

MATERIAL E MÉTODO

Os meses de dezembro e janeiro são os meses mais chuvosos no DF, também, por isso, mais ocupados por nuvens, o que por vezes inviabiliza o imageamento adequado até o mês de abril. O ciclo de chuva e umidade pode ser verificado no pluviograma abaixo (Figura 2).

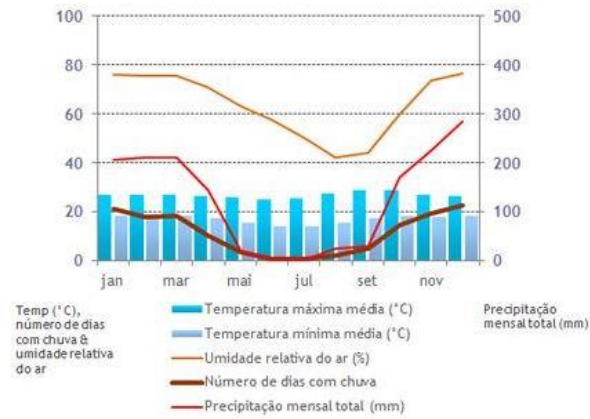


Figura 2 - Pluviograma com médias de 2005 a 2015 (INMET).

A fim de contornar essa limitação, foi selecionada uma imagem do satélite Landsat-8, sensor OLI, do mês de maio, mais exatamente do dia 149 (calendário juliano) de 2014 (Figura 2), tendo em vista que a vegetação se manteve esverdeada até essa data. Já para a imagem representando o período mais seco, foi selecionada a do dia juliano 261 do início do mês de setembro (2014) (Figura 3), quando a vegetação apresenta mais respostas relacionadas com senescência pela indisponibilidade de umidade.

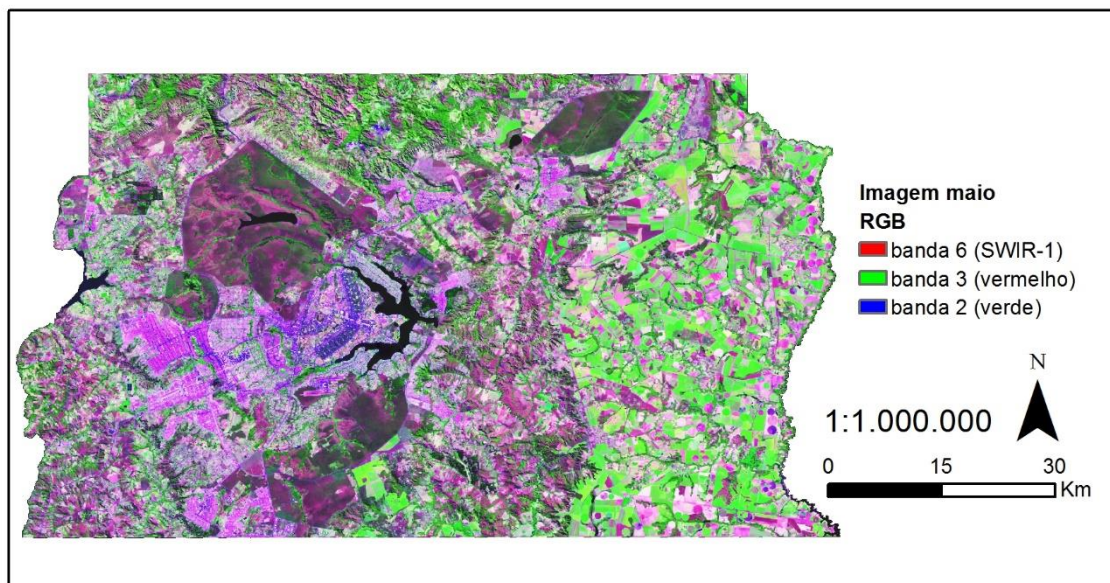


Figura 3 - Imagem OLI do DF em maio.

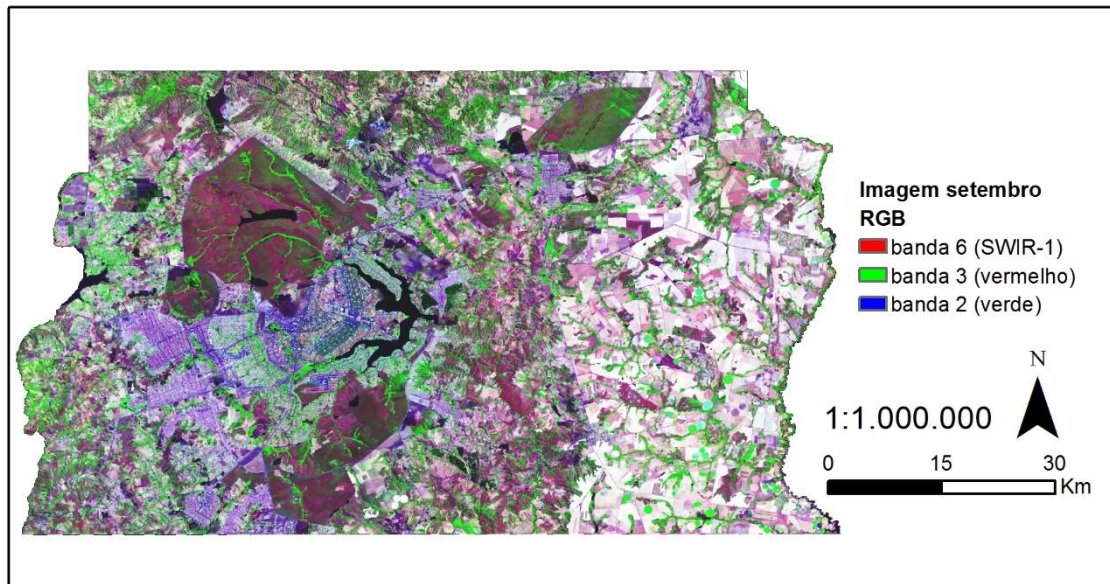


Figura 4 - Imagem OLI do DF em setembro.

As imagens foram corrigidas radiometricamente de números digitais para refletância do topo da atmosfera pelo própria NASA e disponibilizadas via Earthexplorer (USGS, 2015) trazendo o sentido físico necessário às análises subsequentes. Posteriormente, foram selecionadas 31 amostras de formações campestres nativas e 31 amostras de pastagem, com base em imagens de alta resolução (Ikonos, disponibilizada pelo Google Earth) e com parcial verificação de campo, conforme exemplificado nas Figura 5 e 6.



Figura 5 - fotografias retiradas em outubro de 2015. À esquerda, pastagem às margens da rodovia DF-251, Região Administrativa de São Sebastião; à direita, Campo Sujo dentro da Estação Ecológica do Jardim Botânico.

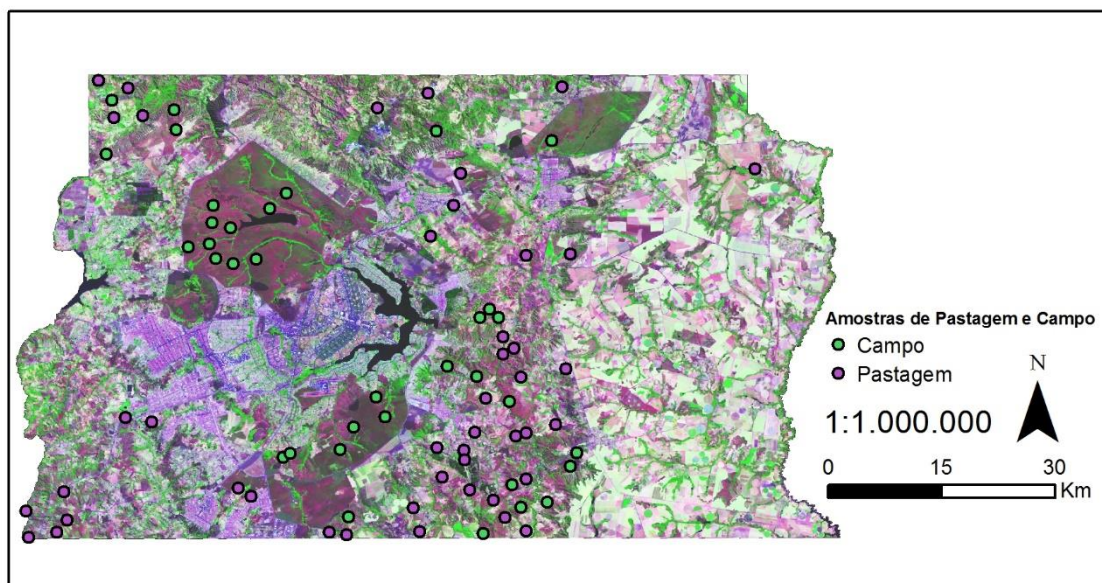


Figura 6 - Locais onde foram amostradas as coberturas de pastagem e as formações nativas predominantemente campestres.

Além das amostras de pastagem e campo, foram selecionadas 10 amostras para cada uma das demais classes, sendo elas: Área Urbana (asfalto, casa, prédios e mineração), Reflorestamento (plantio de Pinus e Eucalipto), Agricultura (cultivos), Formações Florestais (Matas Ripárias, Cerradão, Mata Seca e Mata Estacional), Formações predominantemente arbóreas (Cerrado Denso, Cerrado Sentido Restrito, Cerrado Ralo), Água (Lagos, Represas e Rios com largura maior que 30 m).

As amostras foram utilizadas como subsídio para a classificação das imagens de maio, de setembro e da imagem de Espectro Temporal Reunido (reunião de três bandas de maio com três de setembro). As amostras de pastagem e de campo também foram utilizadas para testes de hipótese que auxiliaram na identificação de quais as bandas com a maior capacidade de distinguir essas duas classes. Foi realizada uma análise de normalidade dessas amostras, no caso o teste de Shapiro-Wilk, ideal para $N < 50$, posteriormente uma ANOVA ($\alpha = 0,05$) para os pares de conjuntos de amostras de pastagem e campo de cada uma das bandas das duas imagens. Nesse teste, rejeita-se a hipótese nula (H_0) se a resposta espectral da pastagem for significativamente diferente ($F > 0,05$) que as de campo. Pelo valor de F, identifica-se quais as faixas de comprimento de onda (bandas) têm uma interação mais distinta entre essas classes, portanto, sendo as bandas mais adequadas para serem reunidas na ETR. Em paralelo, foi realizada uma matriz de correlação a mérito exploratório, com vistas a identificar quais bandas têm maior redundância entre si. Sabendo quais bandas contribuem mais para diferenciar pastagem de campo, essas foram reunidas (layerstack), compondo a imagem Espectro Temporal Reunido.

Por fim, foi realizada uma classificação supervisionada das imagens de maio, setembro e do ETR, com base nas amostras de todas as classes, utilizando o método de vizinho mais próximo. O resultado das classificações foi comparado pelos montantes de cada classe, matriz de confusão

e Kappa baseada em 100 pontos gerados aleatoriamente. Os procedimentos metodológicos podem ser observados na Figura 7.

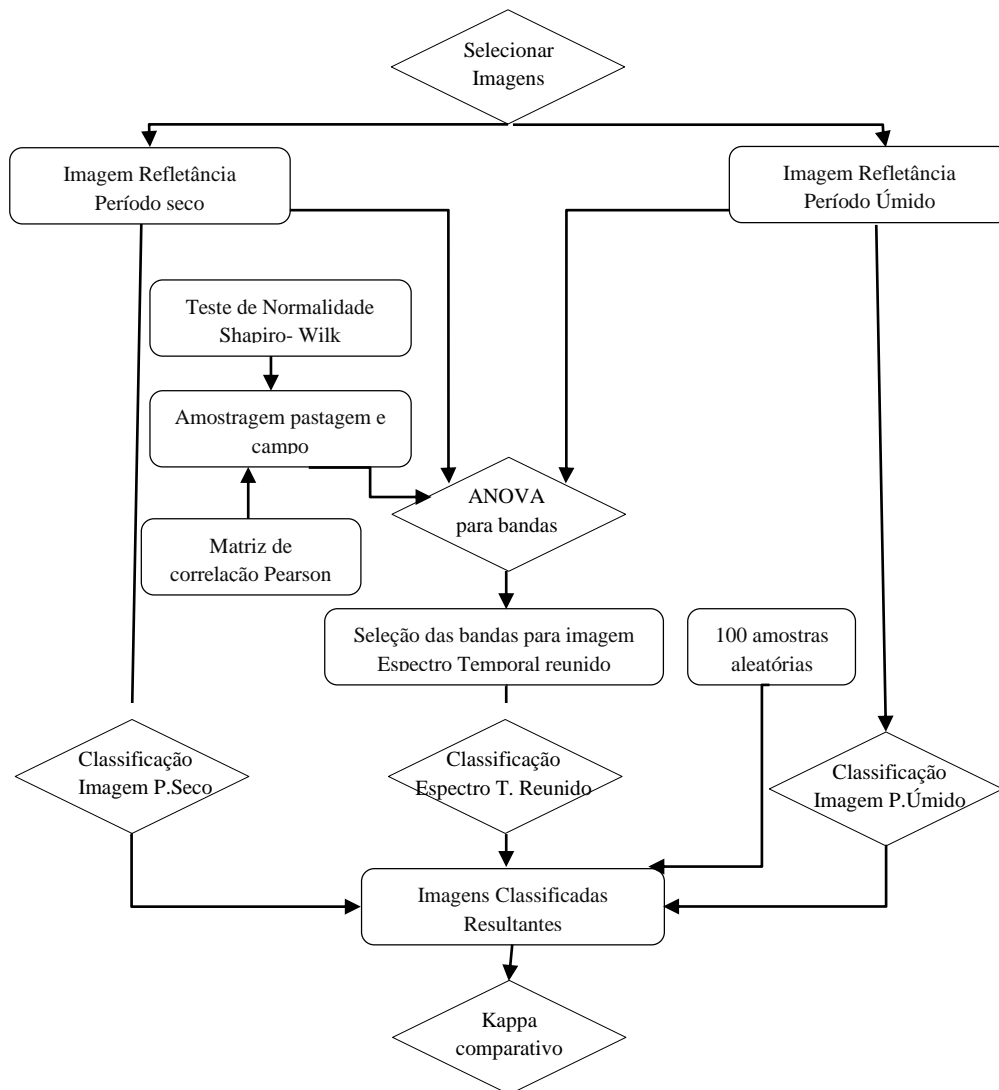


Figura 7 - Modelo esquemático dos procedimentos realizados, desde de a seleção das imagens a comparação de acurácia.

RESULTADOS

As análises propostas para verificar quais as melhores bandas para a elaboração de uma imagem de ETR partem da hipótese de que os valores amostrados de pastagem e campo têm distribuição normal. Para se verificar a normalidade dos valores amostrados, foi executado o teste de Shapiro-Wilk, banda a banda, conforme pode ser observado na Tabela 1 e na Figura 8. Em todos os casos, foi confirmada a normalidade dos dados (H_0), com nível de significância (p) > 0,05.

Tabela 1 - resultado do teste de normalidade Shapiro-Wilk, todas as bandas dos dois períodos mostraram comportamento normal.

		maio						setembro					
Bandas		b2	b3	b4	b5	b6	b7	b2	b3	b4	b5	b6	b7
pastagem	Shapiro - Wilk	0,92	0,98	0,91	0,97	0,94	0,90	0,99	0,98	0,97	0,99	0,99	0,99
	P-valor	0,03	0,77	0,01	0,54	0,10	0,01	0,99	0,70	0,65	0,98	0,96	0,98
Campo	Shapiro - Wilk	0,98	0,98	0,99	0,97	0,97	0,98	0,92	0,88	2,04	0,92	0,92	0,88
	P-valor	0,75	0,80	0,95	0,68	0,53	0,69	0,02	2,7E-03	2,4E-05	0,04	0,03	0,00

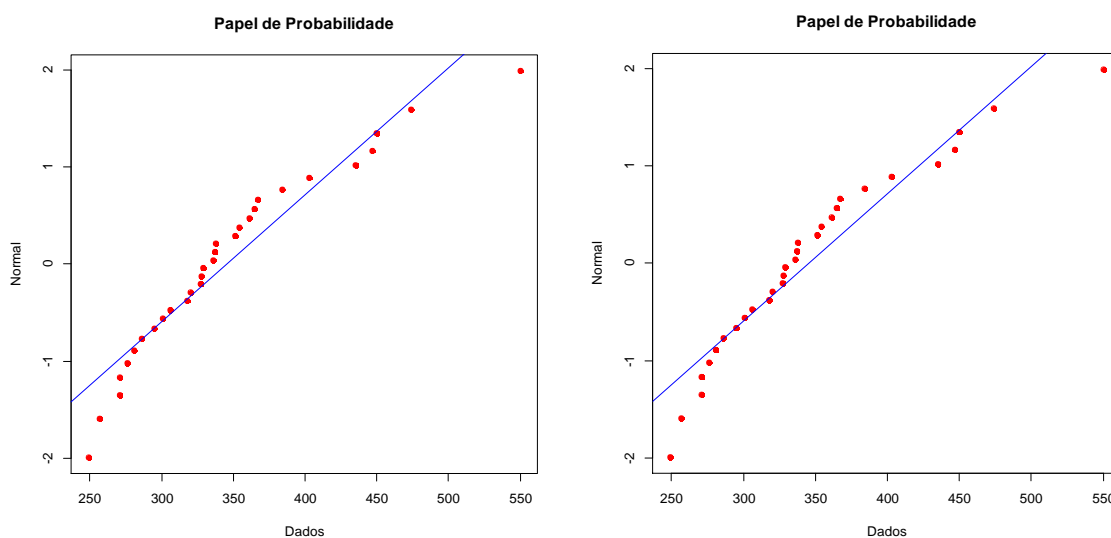


Figura 8 - Exemplificação do resultado do teste de normalidade, tendo, à esquerda, a banda 2 (azul) em maio e, à direita, a banda 2 em setembro.

Sabendo da normalidade da amostra, foram comparadas as amostras de pastagem com as amostras de campo a fim de se identificar em quais bandas há maior diferença entre as amostras dessas duas classes. Para tanto, foi elaborada uma análise de variância - ANOVA banda a banda. Foi observado que há diferença significativa (H_1) entre as amostras de pastagem e campo, em todos as bandas, porém, em diferentes níveis, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado dos testes ANOVA por pares de amostras de pastagem e campo, além de valores médios das refletâncias e a diferença entre as respostas de pastagem e campo.

Bandas	maio						setembro					
	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b2	b3	b4	b5	b6	b7
F	31,9	163,3	40,6	117,9	11,9	4,0	143,2	173,0	157,1	105,4	120,4	115,3
F critico	2,8											
Valor de P	5,1E-07	1,6E-18	3,3E-08	1,3E-15	1,1E-03	5,1E-02	2,6E-17	4,7E-19	3,8E-18	1,2E-14	8,9E-16	2,1E-15
Média f.campestre	267,1	463,4	534,3	1953,6	2067,7	1161,6	387,2	628,3	837,7	1861,1	2771,0	1768,6
Média pastagem	349,1	766,0	751,3	2929,5	2357,6	1300,3	669,1	1106,0	1577,3	2729,4	3580,7	2409,1
% de diferença das médias	23,5%	39,5%	28,9%	33,3%	12,3%	10,7%	42,1%	43,2%	46,9%	31,8%	22,6%	26,6%

Como pode ser observado, as bandas com maior capacidade de distinguir as classes em questão são: em maio, banda 3 - verde, banda 4 – vermelho e banda 5 – infravermelho próximo; em setembro: banda 2 - azul, banda 3 – verde e banda 4 – vermelho.

A partir da amostragem, foi possível identificar uma assinatura espectral “típica/esperada” para a região nos períodos observados e as respostas ao processo de senescência e turgescência. As assinaturas são de fato semelhantes em cada período. No período úmido (no caso maio), ambas têm baixa refletância no intervalo do visível, com leve destaque para a faixa do verde e alta reflectância no infravermelho, sendo mais intenso no NIR, seguido do SWIR-1, conforme esperado. A diferença se dá no fato de que a pastagem tem maior reflectância em todas as bandas: 40% maior no verde, 33% maior no NIR e 29% maior no vermelho. Essas são as bandas com maior diferença.

No período seco (setembro), a pastagem e o campo continuam se comportando de maneira semelhante: na faixa do visível, há um reflectância crescente; no infravermelho, o NIR tem uma discreta redução em relação à reflectância observada no período úmido, enquanto há um aumento da reflectância no SWIR-1 e SWIR-2, assim como, no período úmido, a pastagem tem maior reflectância que o campo em todas as bandas, com destaque para as faixas do vermelho (47% maior), verde (43% maior) e azul (42% maior). Nas bandas do infravermelho, a diferença média é de 27%. Essas respostas podem ser observadas na figura 9.

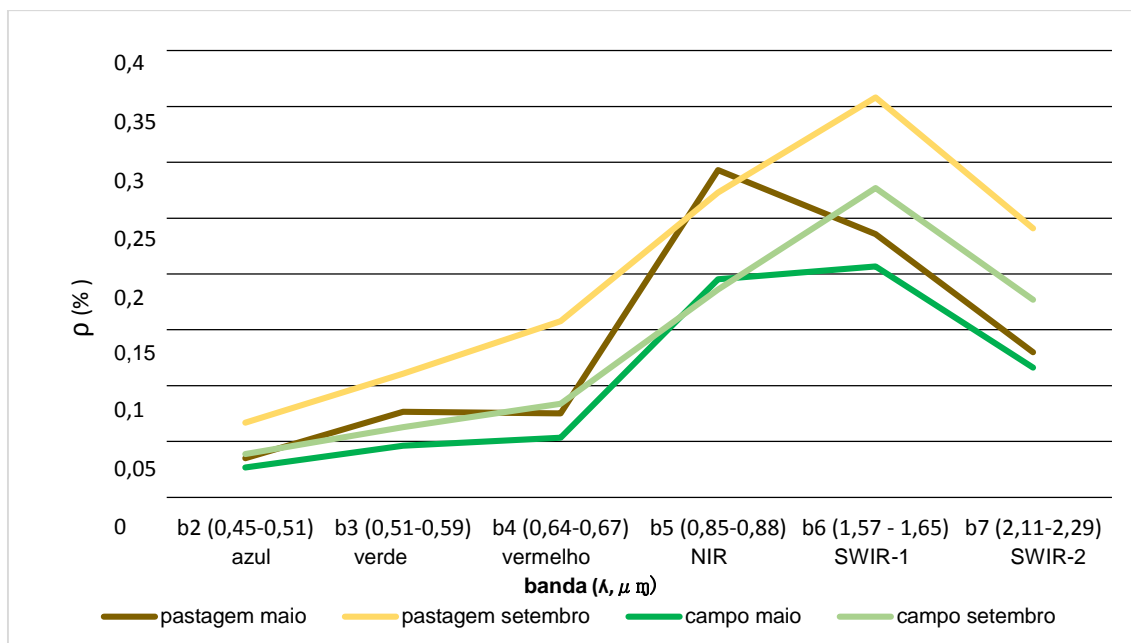


Figura 9 - Assinaturas médias de pastagem (amarela em setembro e marrom em maio) e campo (verde escuro em maio e verde claro em setembro).

A linearidade entre os efeitos de turgescência e senescência na pastagem e o campo nas respostas espectrais faz com que haja uma alta correlação entre as respostas das bandas de cada classe nos diferentes períodos, especialmente notada no período seco, como já observado em outros trabalhos como no de Borges e Sano, (2014). As bandas que parecem ter menor redundância entre os períodos são a banda 7 de maio (SWIR-2), a banda 5 de setembro (NIR) e a banda 6 de maio (SWIR-1), conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de correlação de Pearson entre bandas do período úmido (maio) com bandas do período seco (setembro). Observa-se alta correlação geral, em especial entre as bandas da mesma cena e moderada nas bandas 7 e 6 da cena de maio e 5 de setembro.

	maio							setembro						
	bandas	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b2	b3	b4	b5	b6	b7	
maio	b2	1,00	0,86	0,92	0,59	0,85	0,79	0,61	0,65	0,60	0,53	0,65	0,71	
	b3	0,86	1,00	0,85	0,85	0,70	0,54	0,82	0,86	0,83	0,78	0,84	0,85	
	b4	0,92	0,85	1,00	0,51	0,89	0,85	0,57	0,64	0,64	0,51	0,65	0,72	
	b5	0,59	0,85	0,51	1,00	0,40	0,15	0,81	0,81	0,78	0,83	0,83	0,76	
	b6	0,85	0,70	0,89	0,40	1,00	0,95	0,40	0,45	0,47	0,35	0,58	0,64	
	b7	0,79	0,54	0,85	0,15	0,95	1,00	0,23	0,29	0,31	0,16	0,38	0,49	
	setembro	b2	0,61	0,82	0,57	0,81	0,40	0,23	1,00	0,99	0,93	0,96	0,89	0,79
b3		0,65	0,86	0,64	0,81	0,45	0,29	0,99	1,00	0,95	0,96	0,90	0,82	
b4		0,60	0,83	0,64	0,78	0,47	0,31	0,93	0,95	1,00	0,92	0,89	0,82	
b5		0,53	0,78	0,51	0,83	0,35	0,16	0,96	0,96	0,92	1,00	0,90	0,73	
b6		0,65	0,84	0,65	0,83	0,58	0,38	0,89	0,90	0,89	0,90	1,00	0,91	
b7		0,71	0,85	0,72	0,76	0,64	0,49	0,79	0,82	0,82	0,73	0,91	1,00	

Com base nas amostras colhidas, foram feitas classificações supervisionadas pelo método do vizinho mais próximo, uma da imagem de setembro, uma de maio e outra com as três bandas com

melhor desempenho de maio juntamente com as três bandas com melhor desempenho no período de setembro, formando a imagem do ETR. O resultado dessa classificação foi avaliado quanto à sua acurácia pela matriz de confusão e índice Kappa geradas com base na conferência de 100 pontos selecionados aleatoriamente, assim como os montantes de cada classe comparados entre si. Segue mapa demonstrando a distribuição dos pontos de conferência (figura 10).

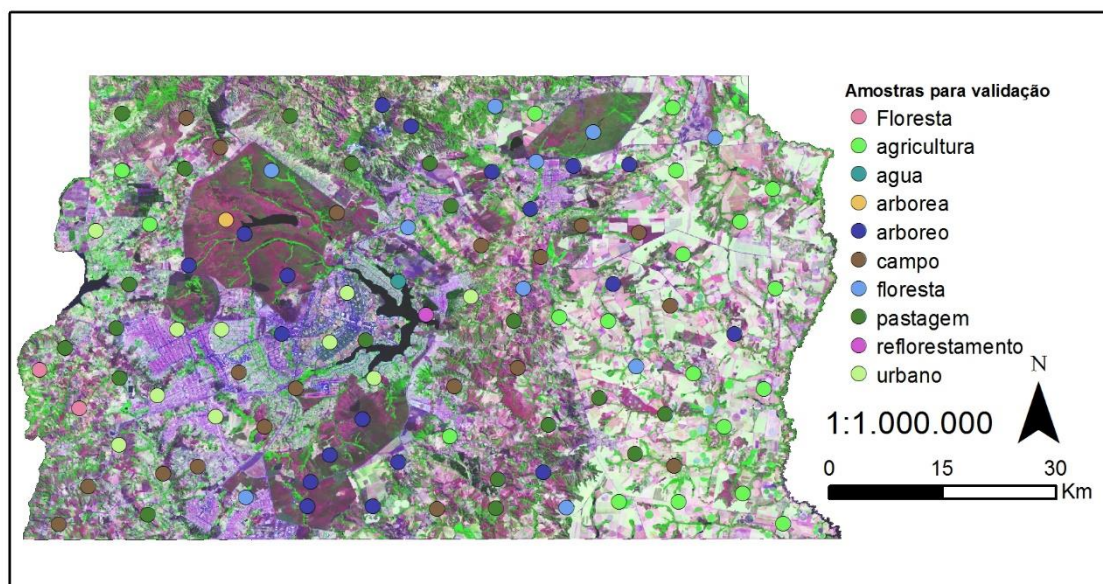


Figura 10 - Pontos para verificação dos mapeamentos.

A classificação sobre a imagem de maio identificou a menor proporção de pastagem entre as três imagens (26%), já a imagem de setembro identificou a menor área de agricultura (12%) e a maior área de campo e pastagem, respectivamente 22% e 35%. A imagem ETR apresentou a maior área de agricultura (23%, um por cento maior que a imagem de maio) e valores intermediários em relação as demais imagens, como pode ser notado na tabela abaixo (Tabela 4).

Tabela 4 - Montante de cada classe de uso e cobertura do solo resultante da classificação baseada na imagem de maio, setembro e ETR.

classe	maio		setembro		ETR	
	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%
Agricultura	127.818	22,0%	72.383	12%	136.304	23%
Água	5.836	1,0%	5.834	1%	5.813	1%
Arbóreo	62.425	10,7%	51.728	9%	60.863	10%
Campo	116.473	20,0%	127.310	22%	124.632	21%
Floresta	60.142	10,3%	38.700	7%	40.351	7%
Pastagem	151.264	26,0%	206.124	35%	154.470	27%
Reflorestamento	2.313	0,4%	2.274	0%	3.843	1%
Urbano	55.217	9,5%	77.134	13%	55.212	9%
Total	581.487	100,0%	581.487	100%	581.487	100%

A fim de possibilitar a comparação visual das classificações resultantes, seguem os mapas da classificação referente a setembro, maio e ETR (Figuras 11 a 13).

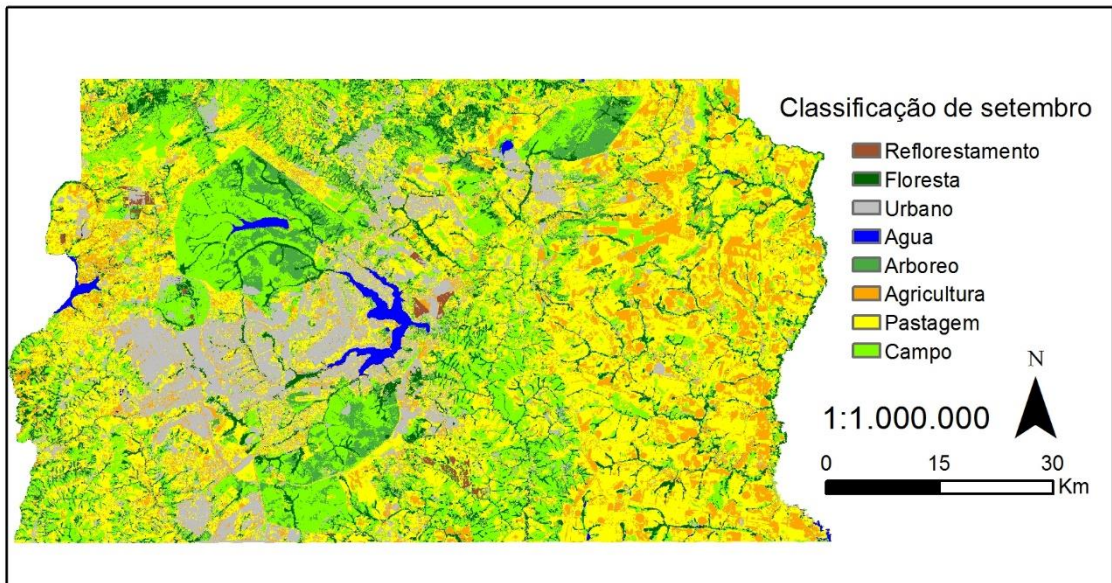


Figura 11 - Classificação de setembro (seca).

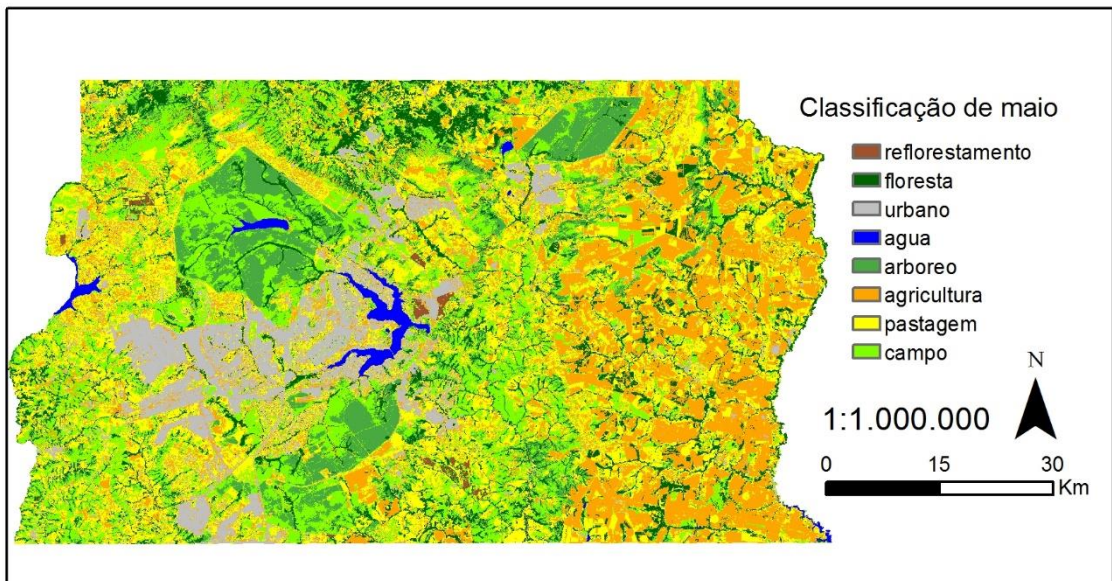


Figura 12 - Classificação de maio (úmido)

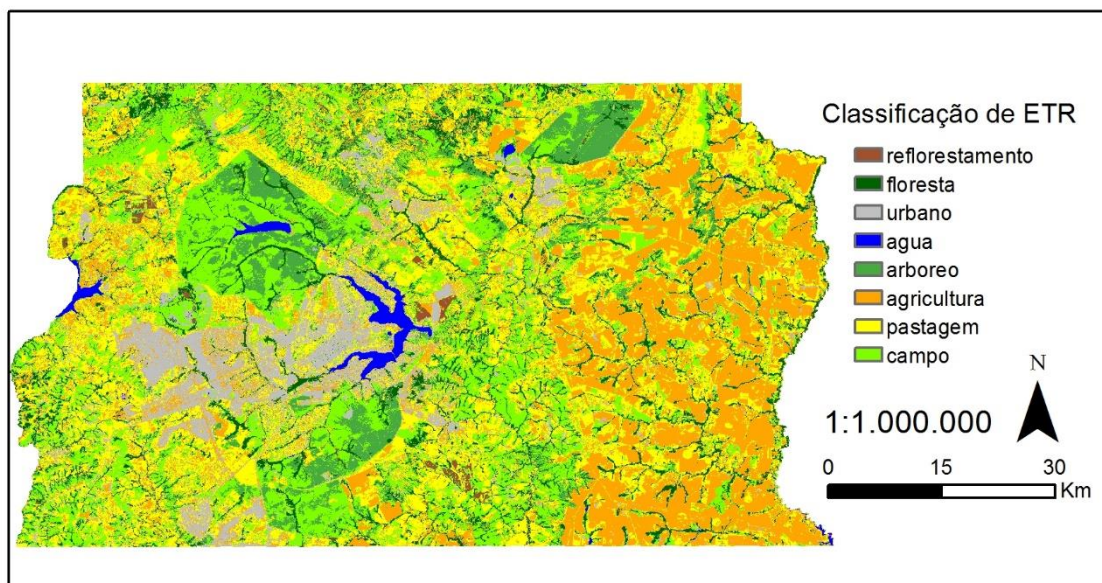


Figura 13 - Classificação de ETR - Espectro Temporal Reunido.

Segundo a matriz de confusão, o mapeamento com base na imagem de setembro obteve nível de acerto moderado (Landis Jr., 1977) com índice Kappa de 0,54 e erros de omissão da agricultura, por vezes classificando-a como pastagem (A.P 0,37). Por sua vez, a classe pastagem foi superestimada, sendo atribuída a ela áreas de campo e agricultura (A.U 0,47). A Tabela 5 mostra a matriz de confusão.

Tabela 5 - Matriz de Confusão referente a classificação da imagem de setembro.

		Imagem de Setembro								Total	A.P
		Agricultura	Pastagem	Urbano	Água	Reflorestamento	Árboreo	Floresta	Campo		
verdade	Agricultura	7	12							19	0,37
	Pastagem	3	14	1					1	19	0,74
	Urbano			9						9	1,00
	Água				1					1	1,00
	Reflorestamento					1				1	1,00
	Árboreo						10	2	8	20	0,50
	Floresta	2		1			1	8		12	0,67
	Campo		4	3						12	0,63
Total		12	30	14	1	1	11	10	21	100	
A.U		0,58	0,47	0,64	1,00	1,00	0,91	0,80	0,57		
Resultados		$\theta 1$	0,62	$\theta 2$	0,17	\bar{K}	0,54				

A classificação referente a maio teve acerto substancial (Landis Jr., 1977), com Kappa igual a 0,74. Houve erros de maior destaque na classificação de campo, tendo sido subestimada, em especial, para a classe pastagem (A.U 0,63), como pode ser observado na matriz abaixo (Tabela 6).

		cena maio							Total	A.P	
		Agricultura	Pastagem	Urbano	Água	Reflorestamento	Árboreo	Floresta	Campo		
verdade	Agricultura	17	2							19	0,89
	Pastagem	2	17							19	0,89
	Urbano			9						9	1,00
	Água				1					1	1,00
	Reflorestamento					1				1	1,00
	Árboreo		1	1			11	4	3	20	0,55
	Floresta	2						10		12	0,83
	Campo	1	3	1			2		12	19	0,63
Total		22	23	11	1	1	13	14	15	100	
A.U		0,77	0,74	0,82	1,00	1,00	0,85	0,71	0,80		
Resultados		$\theta 1$	0,78	$\theta 2$	0,17	\bar{K}	0,74				

Tabela 6 - Matriz de Confusão referente a classificação da imagem de maio.

Por fim, a classificação do ETR obteve acerto quase perfeito (Landis Jr., 1977), com Kappa igual a 0,81. A maior proporção de erro foi verificada para a classe reflorestamento, que foi superestimada, tendo sido atribuída a ela áreas de formações florestais.

Tabela 7 - Matriz de Confusão referente a classificação da imagem de ETR.

		Espectro Temporal Reunido							Total	A.P	
		Agricultura	Pastagem	Urbano	Água	Reflorestamento	Árboreo	Floresta	Campo		
	Agricultura	17	1	1						19	0,89
	Pastagem	1	18							19	0,95
	Urbano		2	7						9	0,78
	Água				1					1	1,00
	Reflorestamento					1				1	1,00
	Árboreo						16	1	3	20	0,80
	Floresta	1				1		10		12	0,83
	Campo		2	2			1		14	19	0,74
Total		19	23	10	1	2	17	11	17	100	
A.U		0,89	0,78	0,70	1,00	0,50	0,94	0,91	0,82		
Resultados		$\theta 1$	0,84	$\theta 2$	0,17	\bar{K}	0,81				

DISCUSSÃO

Primeiramente, dentre a vasta gama de sensores imageadores, foi selecionado o sensor OLI do satélite Landsat-8, que apresentou resolução espacial adequada ao mapeamento proposto, resolução espectral suficiente para a discriminação dos alvos, periodicidade compatível com o escopo e georeferenciamento sem necessidade de correções. No entanto, outros satélites/sensores podem também subsidiar estudos como esse, a princípio o satélite MODIS, sensor Terra, produto MOD09GD e similares que têm potencial para coleta de imagens nos períodos chuvosos, pois têm uma alta resolução temporal e têm produtos com o MOD09A1 que reúne os pixels menos contaminados por nuvens de um período de 8 dias (Liesenberg *et al.*, 2007). No entanto, há vantagens em se utilizar imagens dos meses entre março e maio, com exemplares do período úmido. Logicamente, a ausência de nuvens é a principal delas, seguida do fato de que, ao utilizarmos uma imagem do mês de maio, por exemplo, teremos um menor intervalo para a imagem do período de representante da seca (agosto ou setembro), o que diminui a possibilidade de ter havido uma alteração no uso da cobertura do solo, o que acarretaria em dificuldades na classificação. A imagem do mês de maio mostrou-se adequada como contrastante do período seco, apresentando cobertura vegetal turgente, conforme pode ser observado na assinatura espectral apresentada.

Amostrar áreas de pastagem e campo que de fato sejam representantes dessas classes é um desafio a parte. Mesmo em imagens de alta resolução, exige-se capacidade de reconhecimento dos padrões visuais e vistoria *in loco*. O resultado dos testes estatísticos e a qualidade dos mapeamentos é totalmente dependente dessa seleção. Além de selecionar amostras que englobem os mais diversos estados dessas classes, passa a ser importante escolher amostras de áreas (de pastagem e campo) que sofreram algum tipo de alteração entre o período das imagens, por exemplo que sofreram queimada ou roçagem. Caso contrário, essas áreas serão classificadas como outras classes.

A assinatura espectral da pastagem e do campo nos períodos seco e úmido relata bem a diferença no comportamento de senescência e turgescência entre essas classes. A diminuição dos pigmentos que absorvem os comprimentos de onda do visível parece ser mais severo na pastagem, já que essa passa a refletir mais esses comprimentos de onda no período seco. Assim como a alteração da estrutura (disposição dos cloroplastos no mesófilo) causam maior absorção dos comprimentos de onda no NIR na pastagem do que no campo, a diminuição da absorção do SWIR-1 e SWIR-2 é mais intensa na pastagem também.

A tendência geral de uma alta correlação entre as respostas das bandas dos dois períodos pode indicar uma outra forma de selecionar as bandas para formar o ETR, a complementariedade. Partindo da ideia de que independente a capacidade de distinguir pastagem de campo medido por testes de variância ($> F$) pode ser válido selecionar as bandas que menos se relacionam entre si,

portanto, têm menor redundância. Seguindo esse método de seleção, seriam selecionadas as bandas 2 (verde), 4 (vermelho) e 7 (SWIR-2) de maio e 4 (vermelho), 5 (SWIR-1) e 7 (SWIR-2). Algo a ser testada em estudos futuros.

A alta correlação entre os valores de setembro explica porque a imagem desse período teve o menor desempenho na classificação. Nesse período, parte dos cultivos ainda estão em estágio inicial, com pouca cobertura vegetal, tendo parte de sua resposta espectral influenciada pelo solo que fica exposto, assim como a pastagem. Já no mês de maio, as formações predominantemente campestres foram por vezes confundidas como pastagem, uma tendência que merece atenção já que pode gerar levantamentos que subestimam o montante de vegetação nativa. Essa confusão entre essas classes tende a acontecer nesse período devido à semelhança das respostas espectrais, que é de aproximadamente 25% (diferença das médias das bandas de cada classe). A imagem de ETR se mostrou substancialmente mais eficiente em classificar o uso e a cobertura do solo, em especial, para diferenciar pastagens de campo, podendo até ser considerada conservadora quanto ao computo de formações campestres. Testes mais amplos podem vir a verificar esse fato.

CONCLUSÃO

A iniciativa de reunir em uma única imagem bandas de períodos diferentes, no intuito de capturar as mudanças fenológicas de coberturas vegetais em áreas com relevante sazonalidade climática se mostrou eficiente e promissora. Em comparação com mapeamento de período seco e período úmido, o ETR se mostrou mais fidedigno e como menor taxa de erros entre as classes nativas e antrópicas.

O uso de imagens de períodos logo após a estação chuvosa, tal como o mês de maio, apresentou grande potencial para contrastar com imagens de períodos secos. Por mais que não tenham o verdor/turgescência do período chuvoso, guardam respostas suficientemente diferentes do período seco, sendo portanto, uma opção válida aos períodos chuvosos.

A seleção das bandas com maior potencial discriminativo entre formações semelhantes apresenta diversas possibilidades que merecem ser exploradas com vistas a ampliar a capacidade de classificação automática. Em especial, o aperfeiçoamento do processo estatístico e a inclusão de índices de vegetação como: NDVI, EVI, IAF e PCA, conforme explorado em separado por outros autores (Ratana *et al.*, 2005; Ponzoni *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2013; Borges e Sano, 2014).

Tendo em vista as dificuldades de classificar ambientes com grande sazonalidade, tais como savanas, pantanais, desertos e taigas, dentre outros, o ETR pode ser uma ferramenta facilitadora, capaz de ampliar a capacidade objetiva (automática) de diferenciar, via resposta espectral, alvos aparentemente semelhantes, resultando em mapas mais precisos e como menor investimento.

REFERÊNCIAS

ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. **De Grão em Grão, o Cerrado Perde Espaço**. Brasília-DF: 1995.

BORGES, E. F.; SANO, E. E. Séries temporais de evi do modis para o mapeamento de uso e cobertura vegetal do oeste da Bahia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 3, p. 526-547, 2014. ISSN 1982-2170.

FERREIRA, L. et al. Biophysical Properties of Cultivated Pastures in the Brazilian Savanna Biome: An Analysis in the Spatial-Temporal Domains Based on Ground and Satellite Data. **Remote Sensing**, v. 5, n. 1, p. 307-326, 2013. ISSN 2072-4292.

FERREIRA, L. G. et al. Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. **Journal of Arid Environments**, v. 56, n. 3, p. 425-447, 2004. ISSN 01401963.

FURLEY, P. A. The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian Cerrados. **Global Ecology and Biogeography**, n. 8, p. 223-241, 1999.

GATES, D. M. et al. Spectral proprieties of plants. **Applied Optics**, v. 4, n. 1, p. 11-20, 1965.

GOLDEWIJK, K. K. Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE Database **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, n. 2, p. 417-433, 2001. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1999GB001232/abstract>.

IBAMA/CSR. Monitoramento do Bioma Cerrado 2009-2010. **Relatório Técnico**, p. 1-65, 2011. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatoriofinal_cerrado_2010_fina1_72_1.pdf.

LAMDIN, E. F. et al. The causes of landuse and landcover changemoving beyond the myths. **Global Enviromental Change**, n. 11, p. 261-269, 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378001000073>.

LANDIS JR, K. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159 - 174, 1977.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S. Análise Da Dinâmica Sazonal E Separabilidade Espectral De Algumas Fitofisionomias Do Cerrado Com Índices De

Vegetação Dos Sensores Modis/Terra E Aqua. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 295 -305, 2007.

MMA. Cerrado brasileiro tem 54,5% da vegetação preservada. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/11/cerrado-brasileiro-tem-54-5-da-vegetacao-preservada>>.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RATANA, P.; HUETE, A. R.; FERREIRA, L. Analysis of Cerrado Physiognomies and Conversion in the MODIS Seasonal–Temporal Domain. **Earth Interactions**, v. 9, n. 3, p. 21, 2005.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; & BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, n. 80, p. 23–230, 1997.

TRANCOSO, R.; SANO, E. E.; MENESES, P. R. The spectral changes of deforestation in the Brazilian tropical savanna. **Environ Monit Assess**, v. 187, n. 1, p. 4145, Jan 2015. ISSN 1573-2959 (Electronic)

0167-6369 (Linking). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25471621>>.

USGS. <http://earthexplorer.usgs.gov>. 2015. Acesso em: 20/12/2015.

VITOUSEK, P. M. et al. Human domination of earth's ecosystems. **Science**, n. 277, , p. 494–499, 1997.