

Análise da sazonalidade da vegetação em dois ecossistemas brasileiros Amazônia e Cerrado

Suzana Maria Inácio de Carvalho¹
Jorge Alberto Bustamante Becerra²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 01 - 12630-000 – Cachoeira Paulista - SP, Brasil
suzana.carvalho@inpe.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 01 - 12630-000 - Cachoeira Paulista - SP, Brasil
jorge.bustamante@inpe.br

Abstract. The aim of this study is to assess the main features of the vegetation seasonality of the Amazon and Cerrado biomes in a gradient of four climatological classes, which were derived from CRU monthly precipitation dataset (1961-1990), being two classes (C5 and C4) of higher precipitation located in the Amazon biome and the other two (C3 and C2) of lower precipitation in the Cerrado biome. These all classes were cut for three longitudinal transects placed latitudinal and parallel between them in order to analyse the following vegetation seasonal parameters: start, end, length and amplitude of the vegetation growth cycle, as well as the integral of this cycle; derived from EVI time series data (2000 to 2012). Our results showed that in regions with higher rainfall, the vegetation seasonality is less pronounced than in region with lower rainfall. The transect analysis showed that the vegetation growth cycle parameters of T1 and T2 were similar between them and both (T1 and T2) were different of T3. The beginning and end of the vegetation growth cycle of C5 and C4 (Amazon) classes were not associated with the beginning and end of the rainy season, while the classes C3 and C2 (Cerrado) showed relationship between vegetation and rainfall. Vegetation growth cycle of classes C5 and C4 showed higher length, less amplitude and higher integral when compared to C3 and C2 classes that showed less length, higher amplitude and less integral. This means that the Cerrado vegetation has less productivity and higher seasonality than the Amazon Vegetation. This study showed that the vegetation growth cycle parameters were able to identify the main features of vegetation in each climatological region.

Key-words: remote sensing, vegetation index, climatology, seasonality.

1. Introdução

Na região tropical como os ecossistemas brasileiros Amazônia e Cerrado, a sazonalidade climática (em específico a precipitação) exerce um papel importante na dinâmica da vegetação. A distribuição espacial e estrutura vertical da vegetação natural são determinadas pela interação de fatores ambientais abióticos e bióticos, como clima, solo, geomorfologia e fauna associada a estes ambientes naturais. Estas interações permitem também que a cobertura vegetal tenha um papel importante nos sistemas climáticos, devido a trocas de energia, água e gases com a atmosfera e também como fonte de produção e seqüestro de gases no ciclo biogeoquímico (Sellers et al., 1997).

Existem sistemas que apresentam elevada sazonalidade de funcionamento e outros que apresentam padrões mais estáveis. Isto se deve tanto ao tipo de vegetação do ecossistema, quanto às forçantes ambientais (Tannus 2004). No Brasil, como exemplos de alta sazonalidade pode-se citar o campo de estrato herbáceo de ciclo anual (campo limpo) e o Cerrado, com o seu componente arbóreo-arbustivo semidecidual. Como exemplos de baixa sazonalidade tem-se a floresta tropical Amazônica nas proximidades de rio Tapajós, que apresenta uma menor variação em termos de funcionamento (Goulden et al., 2004). A sazonalidade da vegetação pode ser monitorada através de dados oriundos de sensores remotos, como MODIS, e dentre os índices de vegetação existentes, o EVI possui elevado potencial de monitorar padrões espaciais e temporais da atividade fotossintética, incluindo a avaliação de aspectos fenológicos e a detecção de mudanças (Huete et al., 2002). O EVI foi

desenvolvido para promover a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (Justice et al., 1998). Este índice (EVI) aplicado no software TIMESAT, que é um pacote de software desenvolvido para análise de séries temporais de dados de sensoriamento remoto, é capaz de investigar a sazonalidade de séries temporais e sua relação com propriedades dinâmicas da vegetação, tais como fenologia e desenvolvimento temporal (Eklundh, 2011).

O objetivo deste trabalho é avaliar a sazonalidade da vegetação em um gradiente de classes climatológicas a partir de um conjunto de parâmetros de sazonalidade/fenologia obtidos de séries temporais do EVI e extraídos usando o TIMESAT. Desta forma pretende-se contribuir com o entendimento da dinâmica sazonal da vegetação num gradiente de classes de precipitação ao longo dos biomas Amazônia e Cerrado.

2. Metodologia

A área de estudo compreende parte dos biomas brasileiros Amazônia e Cerrado. A Amazônia possui uma grande variedade de tipos de vegetação, e característica mais significativa de florestas tropicais úmidas é o calor e a umidade contínuos, o que favorece o crescimento ao longo do ano (Richards, 1952) e resulta em uma diversidade de estratégias e padrões fenológicos maior que em outros ecossistemas (Sarmiento & Monastério, 1983; Newstrom *et al.*, 1994). Nas savanas tropicais, padrões temporais de crescimento e reprodução das plantas estão ligados à sazonalidade climática (Williams *et al.* 1997). O cerrado é um complexo de formações vegetais que apresenta fisionomias e composição florística variáveis, apresentando alta diversidade alfa (de espécies) e beta (de paisagens) (Becerra et al., 2010).

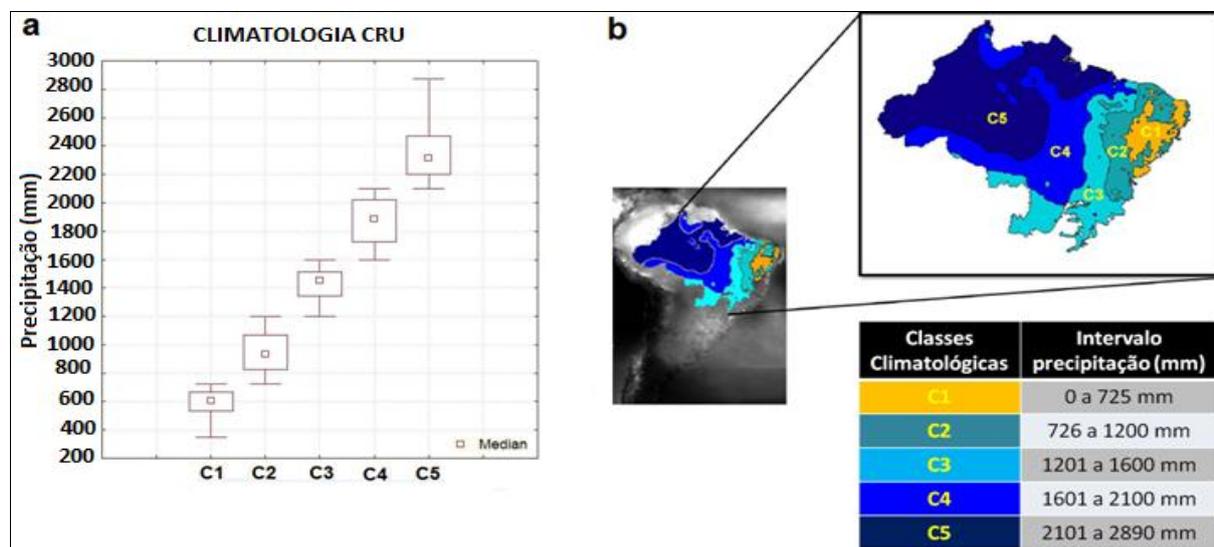


Figura 1. Perfil da climatologia da precipitação para cinco classes climatológicas (a), e delimitação das classes climatológicas da região de estudo, mostrando intervalo com valores mínimos e máximos para cada classe (b).

Para análise da sazonalidade da vegetação nos biomas Amazônia e Cerrado, inicialmente foi realizada uma classificação climatológica anual da precipitação usando dados do CRU (*Climate Research Unit (UK)*) (1961-90) com resolução de 10 minutos, em 5 regiões que seguem um gradiente de maior a menor precipitação nos biomas Amazônia – Cerrado – Caatinga. Contudo, para fins deste estudo, as regiões de interesse estão inseridas dentro dos biomas Amazônia, que compõe as classes com maior regime de precipitação C4 e C5 (com precipitação média acima de 1946 a 2470 mm) e Cerrado que compõe as classes de menor

regime de precipitação C2 e C3 (precipitação média 592 a 942 mm), para avaliar a sazonalidade da vegetação nestas classes climatológicas, como mostra a Figura 1.

Posteriormente, três transectos foram traçados de oeste a leste cortando as classes climatológicas, tendo a latitude fixada no T1 em 5°45'39.56"S e longitude variando de 55°12'20.92" W a 34°45'53.88" W, no T2 em 8°26'25.30"S e longitude de 55°8'25.05" W a 42°45'28.24"W e no T3 em 10°54'22.81"S e longitude de 55°7'6.43"W a 43°23'28.18"W. Ao longo de cada transecto foi definido um número de áreas amostrais de 40x 40 Km de acordo com o percentual de cada classe climatológica cortada pelo transecto, como mostra a Tabela 1 e Figura 2.

Tabela 1. Relação do número de áreas amostrais de 40 x 40 Km para cada Transecto em cada classe climatológica. As classes de interesse neste estudo representam as classes C2 a C5.

	T1		T2		T3	
	% de ocorrência	n° de amostras	% de ocorrência	n° de amostras	% de ocorrência	n° de amostras
C1	14 %	4	33 %	8	25 %	6
C2	30 %	7	22 %	5	23 %	6
C3	20 %	5	9 %	2	13 %	3
C4	24 %	6	24 %	6	30 %	7
C5	12 %	3	12 %	3	10 %	2

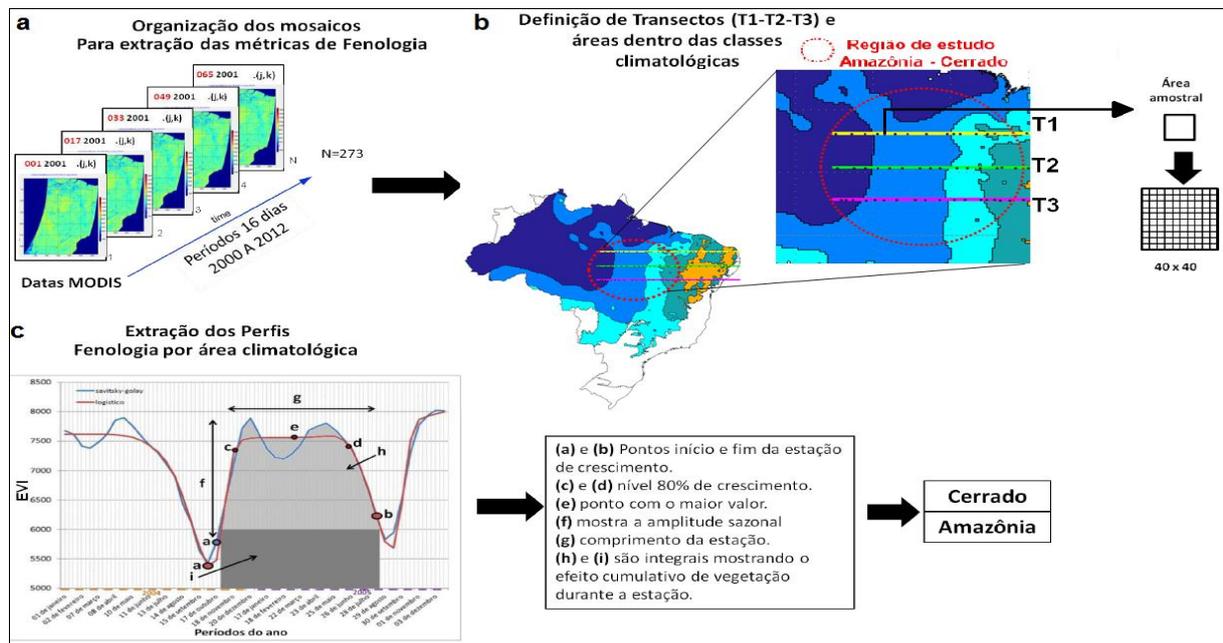


Figura 2. Esquema metodológico mostrando: utilização de mosaicos de imagens do índice de vegetação (EVI) (a); definição de três transectos ao longo dos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga e definição de áreas amostrais dentro dos biomas (b) e extração dos parâmetros de sazonalidade para os biomas Amazônia e Cerrado (c).

Os parâmetros de sazonalidade de vegetação extraídos pelo TIMESAT foram: início e fim do ciclo de crescimento, comprimento (o qual significa a duração em dias do ciclo de crescimento), amplitude (que está relacionada ao grau de sazonalidade) e integral L, que corresponde ao acumulo de valores de EVI ao longo do ciclo de crescimento da vegetação. Assim, a integral L representa uma medida da produção total da vegetação, calculado pela

área entre a função ajustada e o nível zero. Estes parâmetros foram extraídos para cada área amostral contidas nas quatro classes climatológicas e para cada transecto (T1, T2 e T3) e foram analisados através do uso de *boxplots*.

Para realizar a análise entre as classes foi feita a média das áreas amostrais de cada classe, em uma escala temporal de 16 dias, para os anos de 2000 a 2012, onde cada ano compõe 23 períodos. O termo período refere-se à resolução temporal do índice que corresponde a 16 dias (por exemplo, o período 1 corresponde de 1 a 16 de Janeiro (16 dias), e o período 23 corresponde de 04 a 20 de Dezembro (353 dias), como mostra a Figura 2.

O regime de chuvas na região amazônica não apresenta uma estação seca bem definida, sendo, entretanto, possível diferenciar o período chuvoso e menos chuvoso. Neste estudo foi considerado período menos chuvoso (entre os meses Maio e Setembro) e mais chuvoso (entre os meses Novembro e Março) segundo Marengo et al., 1998. E no Cerrado, o regime de chuvas de outubro a março e período seco de abril a setembro (Dias, 1992).

3. Resultados e Discussão

3.1 Sazonalidade da vegetação

Os resultados sobre a sazonalidade da vegetação estão descritos nos gráficos dos parâmetros de sazonalidade como início e fim da estação de crescimento, comprimento, amplitude e integral L.

A Figura 3 mostra os resultados dos parâmetros início e fim da estação de crescimento da vegetação para as quatro classes climatológicas que cobrem os biomas brasileiros Cerrado e Amazônia nos três transectos.

Ao realizar uma análise individual para cada transecto, pode ser observado que a mediana do início do ciclo de crescimento no Transecto 1 (Figura 3a), obedece a um gradiente ao longo das classes avaliadas (C2 a C5), apresentando diferenciação bem nítida entre elas, sendo que para C2 o início ocorreu em média em 17 de Novembro (período 21), em seguida a C3 em 30 de Setembro (período 18), C4 em 13 de Agosto (período 15) e C5 em 10 de Junho (período 11). Observa-se que as classes de menor regime de precipitação (C2 e C3), as quais caem sob o bioma Cerrado, o início ocorreu juntamente com o início do período chuvoso, que vai de Outubro a Março (Caseiro, 2013). A vegetação existente neste bioma parece depender do início do período chuvoso para iniciar o seu ciclo de crescimento. Já nas classes de maior regime de precipitação (C4 e C5), que caem no bioma Amazônia, tiveram início do ciclo de crescimento ainda na estação seca, que vai de Maio a Setembro (Marengo et al., 1998). Este fato evidencia que a água parece não ser um fator limitante para a vegetação nesta região de maior regime hídrico. O fim do ciclo de crescimento também demonstrou um gradiente definido como mostra a Figura 3b, onde o fim para as classes C2 e C3 ocorreu em média em 28 e 12 de Julho (período 37 e 36 respectivamente), C4 em 09 de Maio (período 32) e C5 em 06 de Março (período 28). As classes C2 e C3 tiveram o fim no mês onde se inicia o período de seca, que vai de Abril a Setembro (Caseiro, 2013), quando a produção de fitomassa decai, a vegetação entra em fase de senescência, o que resulta em queda de produtividade. Enquanto que as classes C4 e C5 tiveram o fim ainda no período que na Amazônia representa pelo período chuvoso, que vai de Novembro a Março (Marengo et al., 1998). Estes resultados permitem concluir que o ciclo de crescimento da vegetação variou de acordo com os padrões de precipitação.

No Transecto 2, o início do ciclo de crescimento entre as classes C2 a C5 também apresentaram diferenciação, contudo menos acentuada como observado no Transecto 1.

O início da C2 ocorreu em 16 de Outubro (período 19), a C3 em 14 de Setembro (período 17), C4 em 29 de Agosto (período 16) e C5 em 12 de Julho (período 13) como observado na

Figura 3c. Ao observar o fim do ciclo de crescimento (Figura 3d), esta diferenciação entre as classes diminui, principalmente entre as classes C2 a C4, onde o fim ocorreu em 26 e 10 de Junho (períodos 35 e 34), enquanto que para a C5 ocorreu em 22 de Março (período 29).

Já o Transecto 3, não apresentou um gradiente como foi encontrado nos transectos 1 e 2, como também não apresentou grande diferenciação entre as classes C2 e C3 e C4 e C5, contudo, há uma queda evidenciada da classe C3 para C4 como pode ser visto na Figura 3e.

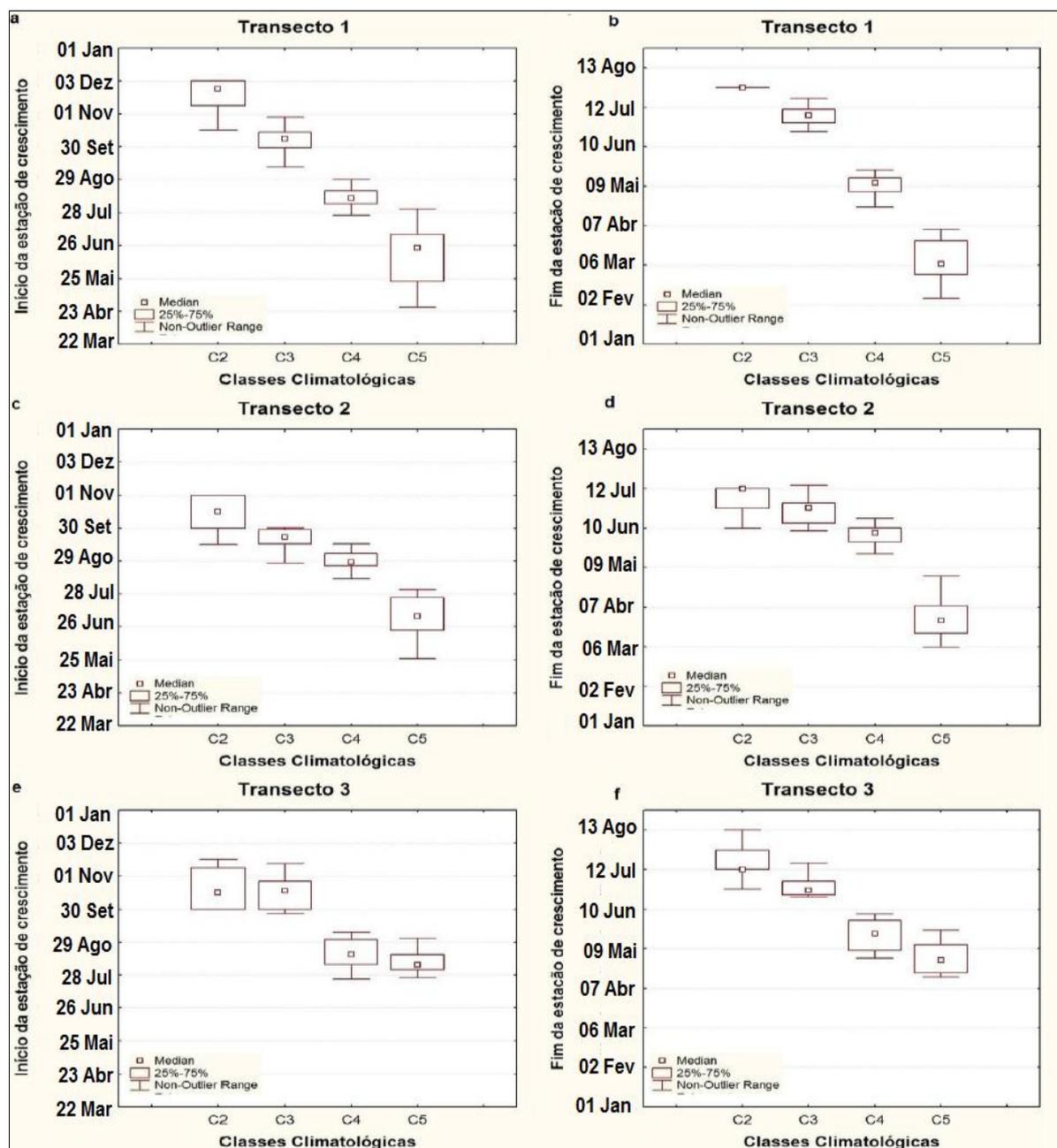


Figura 3. Parâmetros de sazonalidade início e fim nos três transectos: a) Início T1, b) Fim T1, c) Início T2, d) Fim T2, e) Início T3 e f) Fim T3.

Nas classes C2 e C3 o início ocorreu em 16 de Outubro (período 19) e para C4 e C5 o início ocorreu 13 de Agosto (período 15). O fim do ciclo de crescimento apresentou uma pequena diferença, cerca de um mês, sendo que para a classe C2 ocorreu em 12 de Julho (período 13), C3 em 26 de Junho (período 35), C4 e C5 em 25 e 09 de Maio (períodos 33 e 32) Figura 3f.

As diferenças encontradas em cada Transecto podem ter influencia de diferentes fatores, principalmente o antrópico, como o uso e cobertura da terra, que nestas regiões estão cada vez mais intensas. As mudanças antrópicas podem influenciar significativamente a dinâmica da vegetação, a distribuição espacial dos biomas, além de mudanças no albedo, evapotranspiração, e que por sua vez, influencia no feedback do sistema climático global (Foley et al., 2003).

Os resultados mostram que a localização onde ocorre cada classe, pode influenciar o início do ciclo de crescimento. Quanto mais próxima a regiões com menor regime de chuvas, o início ainda ocorre no período chuvoso, podendo representar a importância da chuva para o aparecimento das folhas, enquanto que em regiões onde o regime de chuva é maior, o início ainda pode acontecer no período de seca.

A Figura 4 mostra a média dos transectos para os parâmetros início e fim do ciclo de crescimento nas quatro classes climatológicas. Em geral pode-se observar que as classes mostraram uma diferenciação quanto ao início do ciclo de crescimento, sendo que as menores diferenças foram nas classes de menor regime de precipitação (C2 e C3), ocorrendo em 30 de Setembro e 16 de Outubro (períodos 18 e 19), enquanto que nas classes de maior regime de precipitação (C4 e C5) ocorreu em 12 de Julho e 13 de Agosto (períodos 13 e 15) como mostra a Figura 4a.

O início do ciclo de crescimento revela o período onde a produção de folhas começa a ser evidenciada, e como pode ser observado, o início ocorreu primeiro nas classes localizadas no bioma Amazônia (C4 e C5), meses entre Julho e Agosto. Este período no bioma é fim do período chuvoso e início do período de seca. Observações de satélite confirmaram um brotamento vigoroso de folhas na estação seca, com aumentos tanto do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI) quanto do índice de vegetação melhorado (EVI) no final da estação seca (Potter et al., 2001; Huete et al., 2006; Xiao et al., 2006). A vegetação deste bioma é caracterizada por apresentar produção contínua de folhas ao longo do ano, denominadas vegetação perenifólia, e possuem estratégias fisiológicas que permitem que a vegetação consiga produzir folhas, mesmo em condições com menor regime de precipitação. Enquanto que no Cerrado o início do ciclo de crescimento ocorreu nos meses Setembro e Outubro, que corresponde ao fim da estação seca e início da estação chuvosa. Este bioma é caracterizado por possuir uma marcante sazonalidade (Becerra et al, 2009), tendo a precipitação uma grande influencia na produção e senescência das folhas. O mesmo ocorre ao analisar o fim do ciclo de crescimento (Figura 4b). Na Amazônia onde dominam a vegetação perenifólia (classes C4 e C5) não existe propriamente dito um fim da produção de folhas, mas sim um período de menor produção de folhas, e que ocorreu nos meses 22 de Março e 07 de Abril (períodos 29 e 30), que é considerado ainda como período de chuvas. Enquanto que no Cerrado (classes C2 e C3), o fim ocorreu em 26 de Junho e 12 de Julho (períodos 35 e 36), período de seca neste bioma.

A Figura 5 mostra os resultados das médias para os parâmetros comprimento, amplitude e integral L. Observa-se que para os doze anos o comprimento varia entre 225 e 289 dias. Os valores do comprimento são um reflexo direto do início e o fim da estação de crescimento (Figura 4a e 4b), pois este parâmetro mede o tempo (duração em dias) entre ambos os parâmetros (início e fim do ciclo). Em geral, o comprimento apresentou variação entre as classes, com C2 variando de 225 a 289 dias, C3 de 209 a 305, C4 de 241 a 289 e C5 225 a 305 dias (Figura 5a).

Os valores médios para o parâmetro amplitude na região da Amazônia foram menores em comparação com a região do Cerrado (Figura 5b).

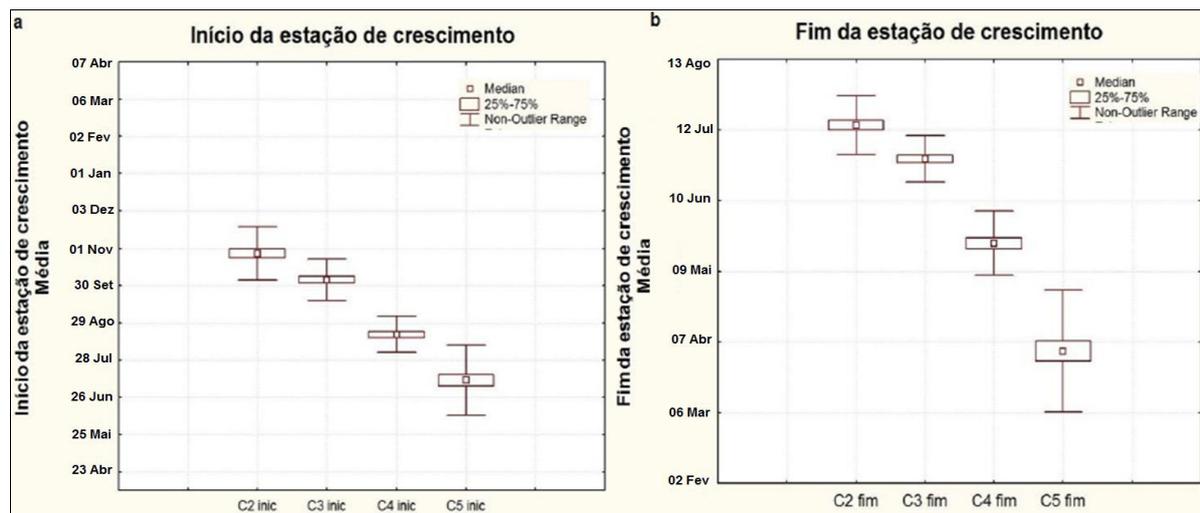


Figura 4. Média anual (2000 a 2012) para os parâmetros início e fim da estação de crescimento nos biomas Amazônia e Cerrado.

Na Amazônia as classes C4 e C5 apresentaram valores deste parâmetro iguais a 0.29 e 0.27 respectivamente, enquanto que no Cerrado as classes C2 e C3 demonstraram os maiores valores, com amplitude igual a 0.33 e 0.30. Este parâmetro é um indicador de sazonalidade, e nos resultados apresentados conseguiu demonstrar de que em regiões com maior regime de chuva como na Amazônia, existe uma menor sazonalidade, como podem ser observados os valores para as classes C4 e C5 que mostram os menores valores da amplitude, enquanto que na região do Cerrado, que é caracterizado por uma sazonalidade marcante, as classes C2 e C3 resultaram os maiores valores para amplitude, demonstrando uma maior sazonalidade.

Os valores médios para o parâmetro integral L mostram uma resposta inversa ao que foi observado para amplitude. As classes C4 e C5 apresentam valores iguais a 10.3 e 11.2 e C2 e C3 valores iguais a 8 e 8.4. Uma vez que a integral L tem uma relação direta com a produtividade primária da vegetação, revelando que em regiões com maior regime de chuva, em específico a Amazônia, a integral L é maior do que em regiões com menor regime como a região do Cerrado. Assim, pode-se comparar que os biomas Cerrado e Amazônia apresentam uma diferenciação quanto a produtividade e que esta produtividade está relacionada com condições como o regime de chuvas (evidenciado pelo aumento do valor do EVI conforme aumenta a precipitação).

A Amazônia tem sido alvo de diversos estudos relacionados à seca, de como a floresta mantém sua produtividade mesmo em condições não favoráveis. Estudos como de Saleska et al., 2007, retratam a relação da seca ocorrida em 2005 com a produtividade na Amazônia através de dados de EVI, os quais foram filtrados removendo as interferências de ruídos. Mesmo com a seca o dossel da vegetação ainda se manteve verde, o que pode ter sido resultado de estratégias fisiológicas da vegetação, as árvores são capazes de utilizar as raízes profundas para acessar e manter a disponibilidade de água em eventos extremos de seca como ocorrido neste ano, além de nesta estação haver maior disponibilidade de luz, possibilitando manter alta produtividade neste período. Contudo, na região da Amazônia, os dados de satélite sofrem grande interferência da presença de nuvens, que é consequência do fluxo e concentração de calor latente emitido pela floresta a atmosfera, tornando esta região com grande presença de ruídos e estes acabam degradando os dados, impedindo um resultado mais realista e significativo.

No entanto, este trabalho mostra a influência do fator abiótico como a precipitação na sazonalidade, mostrando que a precipitação é um dos principais fatores que determina a dinâmica sazonal da vegetação na região de savanas tropicais, como é o caso do cerrado

brasileiro (Bustamante et al., 2008). Enquanto que na Amazônia a precipitação pode não ser o fator limitante na dinâmica da vegetação. Para melhores resultados é preciso incluir novos dados como uso e cobertura da terra, dados ambientais, entre outros, e realizar uma classificação que seja capaz de amenizar ruídos, e que ampliem a capacidade de compreender este ecossistema.

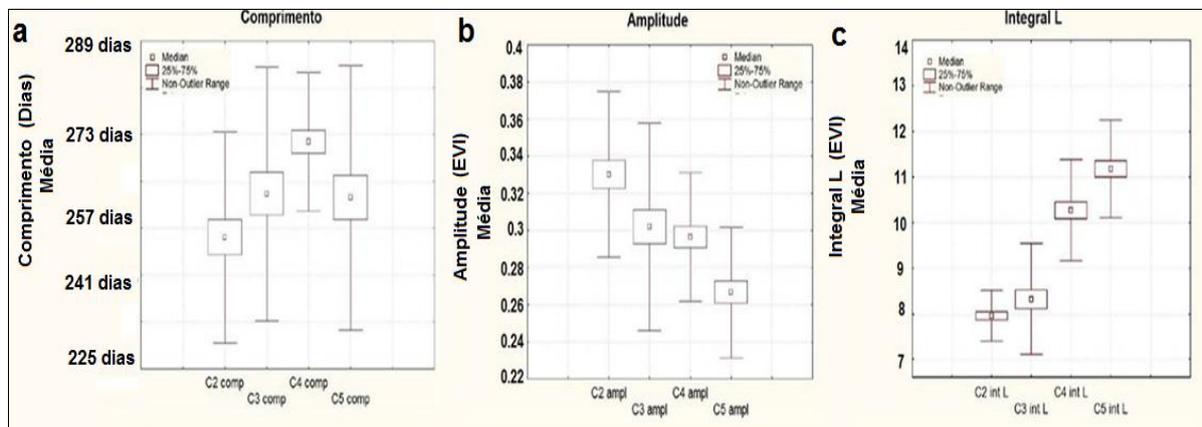


Figura5. Média dos parâmetros Comprimento (a), Amplitude (b) e Integral L (c).

4. Conclusões

Em geral, os resultados obtidos usando dados de sensoriamento remoto conseguiram capturar a dinâmica sazonal da vegetação em resposta à condição do clima (precipitação).

As análises de sazonalidade da vegetação no Cerrado (que corresponde à região com as classes C2 e C3) forneceram subsídios para afirmar que o início do ciclo de crescimento está diretamente relacionado com o início das chuvas, e que o término da estação chuvosa torna-se um fator limitante para a permanência das folhas, evidenciando o fim do ciclo de crescimento na estação seca. Estes resultados se refletem no parâmetro comprimento, que é menor em regiões com menor precipitação. Os dados da amplitude afirmam a característica da vegetação caducifólia, que perdem suas folhas em um determinado período (estação seca), mostrando que a região do Cerrado é caracterizada por uma maior sazonalidade (maior valor de amplitude) do que na Amazônia. A integral L, que mede a produção total da vegetação conclui que foram nas regiões de menor precipitação que houve menor produtividade.

Já na Amazônia (que corresponde à região com as classes C4 e C5) pode-se perceber que o início do ciclo de crescimento ainda pode ocorrer na estação seca, mas devido à região apresentar grande disponibilidade hídrica a água pode não ter sido um fator limitante para o início do ciclo de crescimento, que ocorreu em geral na estação seca. Como na Amazônia não existe um fim propriamente dito da produção de folhas, o fim do ciclo de crescimento ainda ocorreu no período de chuvas, evidenciando que a precipitação parece não exercer um fator limitante para a dinâmica das folhas. Estes resultados se refletem no parâmetro comprimento, que é maior em regiões com maior precipitação e que também reflete no que se refere a sazonalidade. Sobre este aspecto, a sazonalidade, o parâmetro amplitude também demonstrou a característica da Amazônia em consistir por uma menor sazonalidade. E com o parâmetro integral L, foi possível destacar a produtividade do ecossistema da Amazônia sendo maior em relação ao Cerrado.

Este trabalho mostrou que os parâmetros de sazonalidade/fenologia obtidos de séries temporais do índice de vegetação EVI foram capazes de retratar a sazonalidade em cada classe climatológica que abrangem os biomas Amazônia e Cerrado, e revelaram a singularidade que cada ecossistema apresenta de acordo com seu regime de precipitação.

Referências

- Becerra, J. A. B, et al. Precipitação, fogo e índices de vegetação na detecção de fisionomias de savana tropical na região amazônica brasileira. In: Savanas desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais, 2008, Brasília. II Simpósio Internacional Savanas Tropicais, 2008.
- Becerra, J. A. B, et al. Relação do padrão sazonal da vegetação com precipitação na região de cerrado da Amazônia legal, usando índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, 125-134, 2009.
- Caseiro, R.A. O Cerradão e o Cerrado Sentido restrito no jardim botânico de Brasília 2013. 80f. Tese (Mestrado em Botânica) - Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, Brasília. 2013.
- Eklundh, L. & Jonsson, P. 2012. **Timesat 3.1 Software Manual**. Sweden. 82 p.
- Foley, J.A.; et al. Green Surprise: How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.1, n.1, p.38-44, 2003.
- Goulden, M.L. et al. Diel and seasonal patterns of tropical forest CO₂ exchange. *Ecological Applications*, v.14, p.S42-S54, 2004.
- Huete, A.; et al.. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p. 195-213, 2002.
- Huete, A.R., et al., Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters*, 33, L06405. (2006)
- Marengo J. A. ; Fisch, G. ; Marengo, J. ; Nobre, C. . Uma Revisão Geral Sobre O Clima da Amazônia. *acta amazônica*, INPA-Manaus, Brasil, v. 28, n.2, p. 101-126, 1998.
- Molion, L.C.B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: Mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**; 1987;Vol. 2, 107-117.
- Potter C., S. Klooster, C. R. de Carvalho, V. B. Genovese, A. Torregrosa, J. Dungan, M. Bobo, J. Coughlan (2001) Modeling seasonal and interannual variability in ecosystem carbon cycling for the Brazilian Amazon region. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 106, 10, 423-10, 446.
- Saleska, S. R., et al. (2007). Amazon Forests Green-Up During 2005 Drought. *Science*, v. 318.
- Williams, R.J.; Myers, B.A.; Muller, W.J.; Duff, G.A. & Eamus, D. 1997. Leaf phenology of woody species in a north Australian tropical savanna. **Ecology** 78(8): 2542-2558.
- Xiao, X. M., S. Hagen, Q. Y. Zhang, M. Keller, B. Moore (2006) Detecting leaf phenology of seasonally moist tropical forests in South America with multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment* 103, 465-473.