

Variação temporal da biomassa do café arborizado e a pleno sol, através de índices de vegetação

Priscila Pereira Coltri ¹
Luciana Alvim Santos Romani ²
Vincent Dubreuil⁴
Samuel Corgne⁴
Jurandir Zullo Junior¹
Hilton Silveira Pinto ¹

¹ CEPAGRI - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Cidade Universitária – 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
{priscila, jurandir, hilton}@cpa.unicamp.br

² Embrapa Informática Agropecuária
Caixa Postal 6041 – 13083-886 - Campinas - SP, Brasil
luciana@cnptia.embrapa.br

3- COSTEL UMR 6554 LETG CNRS- Université Rennes 2 – COSTEL/UHB
Place Du recteur Henri Le Moal – 35043 – Rennes - France
{vincent dubreuil, samuel.corgne}@uhb.fr

Abstract. In recent years, several works have been accomplished in order to analyze the spectral response of coffee crop fields cultivated in full sun. However, the number of papers related to the monitoring of shaded coffee systems is reduced although this kind of cultivation is very important from the perspective of climate change and agriculture. In addition, the biomass of coffee systems can store carbon, which is a mitigation action. In this context, this paper presents the assessment of the meteorological variation joined with the biomass increase in three different coffee plantation systems: full sun, shaded coffee associated with legumes (SAF), and shaded coffee with Macadamia trees. We used Landsat-5 images from 2004 to 2010, and the NDVI and SAVI indexes. LAI index measured in the test area during all 2009 year. The results showed that the shaded coffee systems presented the NDVI and SAVI indexes with higher values than those found with the system of planting in full sun what corroborates the idea of greater amount of biomass in this type of planting. All indexes present the seasonal rain variation. One month after a large period of drought the indexes NDVI, SAVI and LAI decrease. The NDVI and SAVI indexes presented high correlation with the measured LAI. The shaded coffee system and the full sun coffee reached high vegetation indexes what indicate a high concentration of biomass. This factor should be considered in the decision making process since is important to take advantage of cultivation systems acting as carbon sinks.

Palavras-chave: biomass, image processing, shaded coffee, biomassa, café arborizado, processamento de imagens.

1. Introdução

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo, com uma produção de 45,9 milhões de sacas de grãos beneficiados em 2008 (CONAB, 2009). Segundo dados do IBGE, o país é responsável por 30% do mercado mundial, sendo que, em termos espaciais, os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Paraná são os maiores produtores do grão.

Pinto e Assad (2008) destacam que o aquecimento global e as mudanças climáticas poderão ocasionar uma reconfiguração geográfica na produção do café no Brasil, com perdas econômicas que poderão chegar a R\$ 882,6 milhões de reais já em 2020, no cenário mais pessimista. Essas perdas poderão chegar a R\$ 3 bilhões em 2070, e cerca de 33% das áreas atualmente aptas ao plantio podem se tornar de alto risco climáticos.

Embora os estudos de mudanças climáticas apresentem um cenário problemático para a cafeicultura nacional, o aquecimento global poderá ser minimizado pela mitigação dos Gases de Efeito Estufa (GEEs) que, numa perspectiva de créditos de carbono, se tornará uma nova oportunidade para o Brasil no cenário econômico mundial. Uma das formas de mitigação das emissões dos GEE, segundo o Protocolo de Kyoto, é a preservação dos chamados “sumidouros de carbono”.

Os sistemas agroflorestais e o cultivo de sistemas perenes vêm se destacando como uma prática agrícola conservacionista que consegue “sequestrar” carbono, uma vez que a movimentação do solo é baixa e as culturas permanecem no campo por um longo período de tempo, permitindo continuidade na retirada do CO₂ atmosférico (Rodrigues et al, 2000). Assim, tanto o plantio como o monitoramento da cultura do café arborizado, em relação ao clima, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, torna-se imprescindível para estudos da cafeicultura na nova perspectiva climática.

Uma das formas mais eficientes de monitoramento sazonal da vegetação, assim como seu crescimento vegetativo, é a utilização de índices de vegetação (IVs) (Novo et al, 2005) e índices agroclimáticos. Os mais tradicionais IVs que conseguem monitorar o vigor e a biomassa das plantas, segundo Novo et al (2005), são o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), o SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) e o IAF (Índice de Área Foliar). Dentre os índices agroclimáticos, o que vem sendo amplamente utilizado é o ISNA (Índice de Satisfação das Necessidades de Água), calculado por meio de simulações do balanço hídrico.

Muitos trabalhos avaliam a resposta espectral do café plantado no sistema a pleno sol através dos IVs (Ramirez e Zullo Junior, 2010; Volpato et al, 2009), mas poucos trabalhos monitoram e avaliam a cultura arborizada.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a variação temporal e sazonal dos índices de vegetação NDVI e SAVI da cultura do café plantado sob três sistemas: pleno sol, arborizado com leguminosas e arborizado com macadâmia. Além disso, o trabalho também teve como objetivo verificar a relação entre os índices NDVI, SAVI, ISNA com dados de IAF do café, coletados em campo, nos três sistemas distintos de plantio.

2. Metodologia do Trabalho

O trabalho foi dividido em duas partes principais: (a) Trabalho de campo e (b) Processamento de dados de sensoriamento remoto e climáticos.

(a) Trabalho de Campo: O trabalho experimental foi conduzido na fazenda da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) localizada em São Sebastião do Paraíso, no sul de Minas Gerais, numa altitude de 991m, latitude de 20°55'S e longitude de 46°55'W. As linhas de café foram plantadas com cultivar Catuaí IAC 99, e espaçamento de 3,5m x 0,7m.

A área de estudo é dividida em: (1) Plantio de café a pleno sol (**PS**); (2) Plantio de café arborizado com leguminosas (Sistemas Agroflorestais - **SAFs**) e (3) Plantio de café com macadâmia (**MACA**). A Figura 1 representa, em A, as áreas de estudo, na imagem Landsat 5. Para uma melhor visualização, a Figura 1B, C, D e E, apresentam as áreas de estudo na imagem Geoeye-1, mais detalhada, com maior resolução. O sistema arborizado é constituído por quatro linhas de leguminosa acima de cinco linhas com café. É subdividido em duas parcelas: SAF 1 – café arborizado com Feijão Guandú e Leucena; e SAF2 – café arborizado com Leucena e Gliricidia (Figura 1b). Para as análises de satélite, essas parcelas foram unidas: Sistema Arborizado (SAFs). O sistema Macadâmia é composto por três grandes parcelas de café, mas apenas a parcela do meio é arborizada com Macadâmia (Figura 1d). Para as análises de satélite, foram consideradas todas as parcelas.

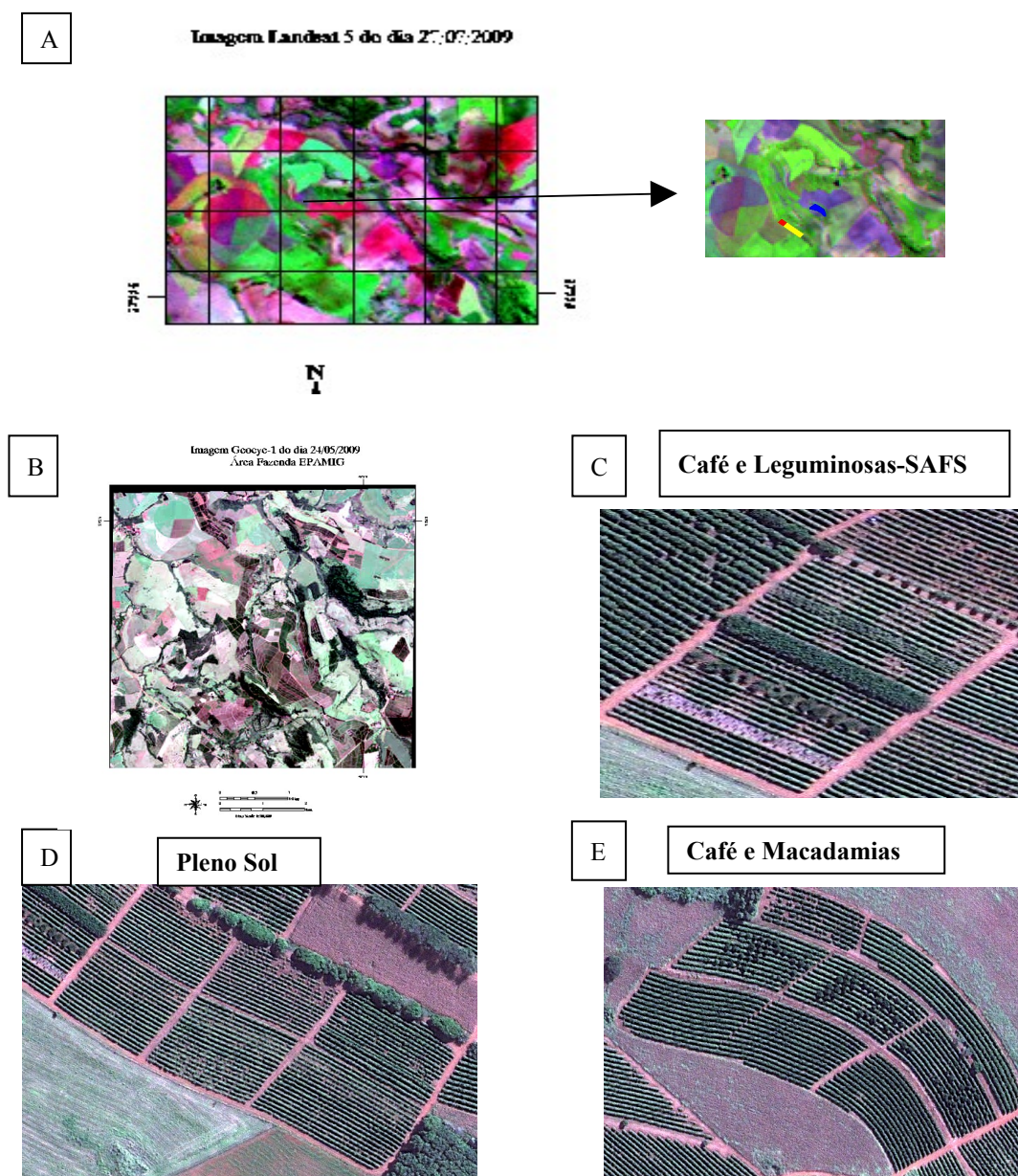


Figura 1- Área de Estudo da Fazenda EPAMIG – **A.:** Composição RGB da Imagem Landsat 5 do dia 27/07/2009, com as áreas em estudo destacadas: Amarelo: Pleno Sol; Vermelho: Área SAFs e Azul: Café com Macadâmia. Em **B.:** Imagem Geosy-1 da área de estudo – **C.:** Detalhe Área de Café Arborizada com Leguminosa (SAFs) da imagem Geosy-1, em **D.:** Detalhe Café Pleno Sol e em **E.:** Detalhe Café Arborizado Com Macadâmia.

Na sede da fazenda, há uma estação meteorológica que coleta, diariamente, dados de temperaturas máxima e mínima e precipitação. Nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e novembro de 2009 mediu-se, com o aparelho LAI-2000, o IAF de cinco plantas de café no sistema a pleno sol, cinco plantas de Café do sistema SAF 1 e cinco plantas de café do sistema SAF2 (totalizando dez plantas no sistema SAFs), cinco plantas na parcela de macadâmia inferior e cinco plantas na parcela de macadâmia superior (totalizando dez plantas no sistema MACA).

(b) Processamento de dados climáticos e de sensoriamento remoto: Os dados meteorológicos de 2004 a 2010 foram cedidos pela Fazenda da EPAMIG. O cálculo da deficiência hídrica anual e do ISNA foi feito a partir da estimativa do balanço hídrico

climático utilizando o método de Thornthwaite & Mather (1955), considerando um armazenamento de água no solo (CAD) correspondente a 125mm (Sedyama et al, 2001) para o período de 2004 a setembro de 2010.

Foram utilizadas imagens do satélite Landsat-5 dos dias 27/06/2004, 16/05/2006, 19/07/2006, 04/08/2006, 05/09/2006, 03/05/2007, 06/07/2007, 07/08/2007, 08/09/2007, 08/08/2008, 09/09/2008, 08/05/2009, 27/07/2009, 12/08/2009, 13/09/2009, 16/11/2009, 27/05/2010, 12/06/2010 e 31/08/2010. Para correção radiométrica e atmosférica, foi utilizado o sistema computacional Scoradis (Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite), desenvolvido por Zullo Junior (1994), que se baseia na teoria e nos parâmetros atmosféricos calculados pelo Modelo 5S (Tanre et al., 1990). As imagens foram georreferenciadas e tratadas no software ENVI. Após a transformação dos números digitais (NDs) em valores de refletância real, foram calculados os índices NDVI e SAVI para as imagens do Landsat-5, segundo as Equações (1) e (2).

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{Rnir} - \text{Rred})}{(\text{Rnir} + \text{Rred})} \quad (1)$$

$$\text{SAVI} = \frac{(\text{Rnir} - \text{Rred}) \times (1 + L)}{(\text{Rnir} + \text{Rred} + L)} \quad (2)$$

onde, **Rred** corresponde à banda do vermelho (0,59-0,750 μ m) e **Rnir** corresponde à banda do infravermelho (0,730-0,945 μ m) em ambas equações. O fator L do índice SAVI incorpora a presença do solo, sendo L = 0.5.

O índice ISNA foi calculado por meio da Equação (3).

$$\text{ISNA} = \frac{\text{ETR}}{\text{ETM}} \quad (3)$$

onde, ETR é a evapotranspiração real e ETM corresponde à evapotranspiração máxima. As análises estatísticas foram realizadas no software JMP do programa SAS.

3. Resultados e Discussão

Nessa seção são apresentados os resultados divididos em duas partes: (1) Variação Temporal e Sazonal do NDVI e SAVI; e (2) Verificação da relação entre os índices NDVI, SAVI, IAF (campo) e ISNA para o ano de 2009.

3.1 Variações Temporal e Sazonal do NDVI e do SAVI de 2004 a 2010

A Figura 2 apresenta a variação dos índices NDVI e SAVI dos sistemas de plantio arborizados (SAF e Macadamia) e Pleno Sol de 2004 a 2010. Os dois índices apresentaram valores maiores nos dois sistemas arborizados quando comparados ao sistema a Pleno Sol. O NDVI do sistema SAF foi, em média, 0,06 superior ao PS, e o sistema MACA 0,04 superior. Já o SAVI SAF foi, em média, 0,03 superior ao PS, e o sistema MACA foi 0,02 superior.

O sistema MACA é constituído por duas grandes parcelas sem macadâmia, sendo, portanto, menos arborizado em relação ao sistema SAF, o que explica os valores intermediários quando comparados ao SAF e PS. Mesmo com valores superiores dos sistemas arborizados, o PS apresenta valores altos dos índices, próximos ao arborizado, reforçando a hipótese de Rodrigues (2009) que os sistemas perenes são importantes fontes de biomassa para estoque de carbono.

O sistema arborizado MACA, até 2008, apresentava valores de NDVI e SAVI intermediários, mas, a partir deste ano, o NDVI MACA igualou-se aos SAFs, e o SAVI

MACA ultrapassou os valores do sistema SAF, indicando um crescimento da vegetação do sistema MACA.

Os outros sistemas não apresentaram valores de crescimento tão acentuado quando o sistema MACA, mas é possível observar que, até setembro de 2007, o café plantado no sistema SAFs apresentou NDVI 0,1 superior ao Pleno Sol. De setembro de 2007 a agosto de 2010, esse valor caiu para 0,03, o que indica o crescimento vegetativo do Pleno Sol. Já para o índice SAVI, foi possível identificar três períodos de diferença: de 2004 a agosto de 2006, o sistema arborizado foi, em média, 0,06 maior que o Pleno Sol; de setembro de 2006 a setembro de 2007 essa diferença caiu para 0,04 e, de setembro de 2007 para agosto de 2010, essa diferença foi de 0,018.

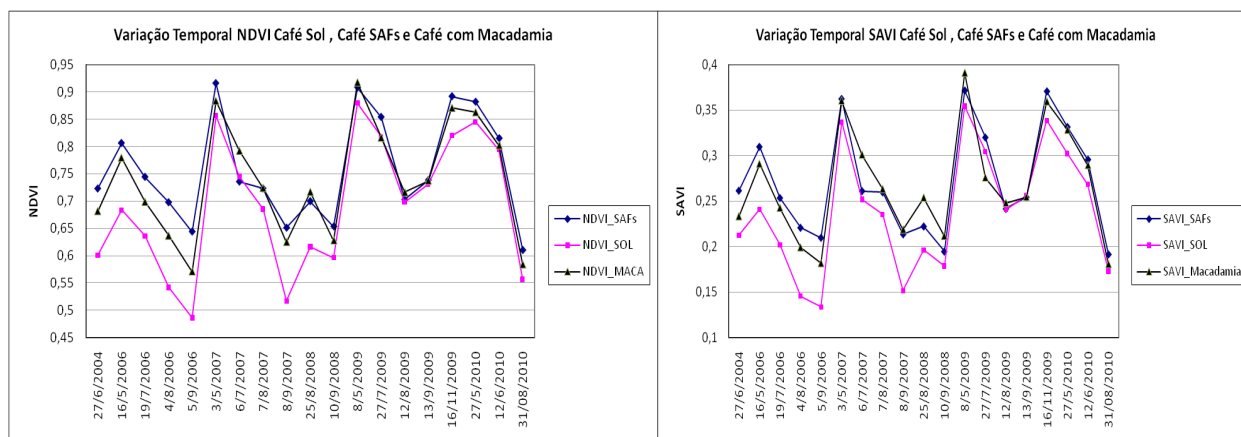


Figura 2 – Variação dos índices SAVI e NDVI de 2004 a 2010 do cafeeiro plantado a Pleno Sol, Arborizado (SAF) e Arborizado com Macadamia (MACA).

Os dois índices, SAVI e NDVI, apresentaram uma forte queda na época seca do ano, e valores mais altos na época chuvosa. Nesse sentido, é possível observar o impacto do déficit hídrico tanto no sistema de café pleno sol quanto nos sistemas arborizados. Volpato et al (2009) encontrou queda e valores semelhantes de NDVI para café cultivado no sistema a pleno sol em Minas Gerais. Tais resultados concordam com Novo et al (2005) que ressalta a eficácia dos IVs para monitorar a variabilidade temporal e sazonal da vegetação em relação ao clima local.

Na série de imagens estudadas, os valores mais baixos de NDVI e SAVI ocorreram nos meses de setembro, exceção feita ao ano de 2009, que teve o menor valor em agosto (para o ano de 2010, a última imagem estudada foi do dia 31 de agosto, e, por ser o último dia do mês, foi considerada como setembro, por representar o mês que passou). Ao comparar os valores mais baixos do NDVI e SAVI com o déficit hídrico, pode-se verificar que há uma defasagem de um mês entre a decorrência da deficiência hídrica máxima (até a data da imagem) e o valor mínimo dos índices, conforme a Tabela 1. Defasagem de um mês entre NDVI e dados climatológicos também foram observados para cultura da soja no Mato Grosso (Avoir e Dubreuil, 2006) e para a vegetação da região nordeste de São Paulo (Liu e Kogan, 1996).

A mesma constância, no entanto, não acontece para os valores do ISNA, que apresentam defasagem entre um e dois meses (Tabela 1). Essas defasagens ocorreram igualmente para os índices NDVI e SAVI. Não houve diferença entre a defasagem do sistema PS e dos sistemas arborizados. Ribeiro et al (2009) explicam que a vegetação necessita de um certo período de tempo para responder às adversidades climáticas, isto é, há necessidade de que ocorra um intervalo de tempo entre a época chuvosa e um acúmulo de biomassa verde, por exemplo. Essa defasagem temporal entre causa (chuva) e efeito (acúmulo de biomassa

verde) é necessária para a recuperação da capacidade fotossintética e produção de carboidratos estruturais destinados à formação de folhas. Portanto a defasagem deve ser considerada quando se tem como objetivo estabelecer uma relação numérica entre vegetação e variáveis climáticas.

Tabela 1- Informações referentes ao NDVI mínimo, mês de ocorrência do NDVI mínimo, soma do déficit hídrico (DEF) até a data da imagem, defasagem em meses entre NDVI mínimo e déficit hídrico mínimo até a data da imagem, valor de ISNA mínimo até a data da imagem e defasagem em meses entre NDVI mínimo e ISNA mínimo.

Ano	NDVI	Mês NDVI	Soma DEF *	Mês Def	Def -Meses	ISNA *	Mês ISNA + baixo*	Def -Meses
2006	0,4864	9	-45,35	8	1	0,2770	7	2
2007	0,5172	9	-20,80	8	1	0,7736	8	1
2008	0,5964	9	-20,27	8	1	0,6093	7	2
2009	0,6982	8	-21,52	7	1	0,4325	7	1
2010	0,5569	9	-54,27	8	1	0,1525	8	1

*valores mais baixos até a data da imagem

Nas datas estudadas, os maiores valores de NDVI e SAVI dos três sistemas de plantio de café (Pleno Sol, SAFs e MACA) ocorreram no mês de maio, diferenciando-se estatisticamente dos demais meses. Tal fator pode ser explicado pelo alto excedente hídrico acumulado até esse mês. De janeiro a maio, em todos os anos estudados, houve excedente hídrico elevado deixando as plantas saudáveis com alto vigor vegetativo. Resultados semelhantes de NDVI em café foram encontrados por Volpato et al (2009) com o satélite MODIS.

O ISNA mais baixo ocorreu no ano de 2010, seguido de 2006 e 2009. No entanto, o NDVI e SAVI mais baixos para o sistema a pleno sol não ocorreram em 2010, mas sim, em 2006 (NDVI = 0,48 e SAVI = 0,13). Tal fator pode ser explicado pelo incremento na biomassa do café do sistema a pleno sol, que os índices conseguiram captar. Já para os sistemas arborizados, o menor valor de SAVI e NDVI ocorreu no ano de 2010 que corresponde ao menor ISNA (SAVI-SAFs = 0,19 e NDVI-SAFs = 0,61; SAVI-MACA=0,18 e NDVI-MACA=0,58), indicando a influência do ano seco no vigor da cultura arborizada.

Os valores NDVI e SAVI demonstram que, nos anos estudados, o café tanto a pleno sol quanto sombreado estavam submetidos a condição hídrica normal exigida pela cultura. Segundo Volpato et al (2009), no período de vegetação e frutificação, que vai de outubro a maio, o cafeeiro precisa de água disponível no solo. Já na fase de colheita e repouso, de junho a setembro, a necessidade de água é pequena e a estiagem não prejudica a produção.

3. 2 Verificação da relação entre os índices NDVI, SAVI, IAF (campo) e ISNA para o ano de 2009

A Figura 3 apresenta os valores dos índices NDVI, SAVI e ISNA e do IAF, medido em campo, dos sistemas arborizados e a pleno sol. Os índices de vegetação foram capazes de identificar a variação sazonal do IAF ao longo do ano de 2009, nos três sistemas de plantio, corroborando com os dados da seção anterior. Os dados coletados em campo confirmam tanto o vigor da vegetação quanto a oscilação sazonal desse vigor em relação às variáveis climáticas, inclusive com a defasagem de um mês encontrada. Correlação entre IAF e índices de vegetação no café também foi encontrada por Ramirez e Zullo Junior (2010), em imagens de alta e média resolução espacial.

Assim como as imagens de satélite, o menor valor de IAF foi em agosto, identificando esse mês como sendo a época de menor vigor do café. O maior vigor vegetativo encontrado nas imagens de satélite foi em maio, e também pode ser comprovado nos valores de IAF medidos em campo. As variações dos índices NDVI e SAVI, e do IAF medidos em campo, são apresentados na Tabela 2.

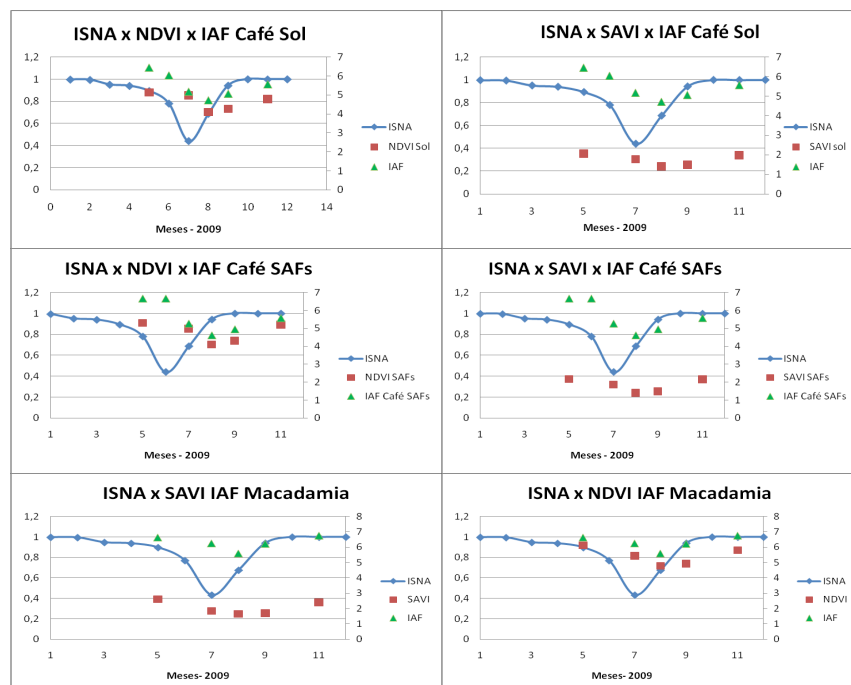


Figura 3 - Valores dos índices de Vegetação NDVI e SAVI x IAF e ISNA.

Tabela 2 – Variação dos índices NDVI e SAVI ao longo do ano de 2007

Mês	NDVI	SAVI	IAF SOL	NDVI	SAVI	IAF SAFs	NDVI	SAVI	IAF Maca
Maio	0,88	0,35	6,45	0,91	0,37	6,65	0,92	0,39	6,61
Julho	0,82	0,3	5,17	0,85	0,32	5,25	0,82	0,28	6,23
Ago	0,69	0,24	4,71	0,70	0,24	4,60	0,72	0,25	5,58
Set	0,73	0,26	5,00	0,74	0,25	4,94	0,74	0,25	6,20
Nov	0,82	0,34	5,57	0,89	0,37	5,56	0,87	0,36	6,74

Foi possível observar também que o IAF diminui conforme o valor de ISNA diminui, com a já referida defasagem de tempo de um mês. Os índices SAVI e NDVI apresentaram comportamento semelhante, seguindo a variação sazonal do ISNA. Resultados semelhantes entre esses dois índices foram encontrados por Rosendo e Rosa (2009). Assim, foi possível constatar, em campo, a alta correlação entre as variáveis meteorológicas e a resposta da cultura do café em diferentes sistemas de plantio.

4. Conclusão

No presente estudo foi possível concluir que tanto o índice NDVI quanto o SAVI permitem monitorar e avaliar o vigor e o crescimento da cultura do café arborizado e a pleno sol:

- Sistemas de cafezais arborizados apresentam maior biomassa que cafezais a pleno sol;
- Há uma defasagem de um mês entre o maior déficit hídrico e o menor NDVI, SAVI e IAF, tanto para o sistema a pleno sol quanto para os sistemas arborizados;
- Há uma defasagem entre um e dois meses, entre o menor valor de ISNA e os menores valores dos índices NDVI, SAVI e IAF;

- Índices de vegetação e agroclimáticos para cafezais arborizados e a pleno sol são uma importante ferramenta para estudos da cafeicultura na nova perspectiva climática;
- Sistemas agroflorestais com café e a cultura a pleno sol apresentam altos índices de vegetação, indicando alta biomassa, e devem ser considerados como importantes sumidouros de carbono.

Agradecimentos: Os autores agradecem às agências CNPq, Embrapa Café, Fapesp, Microsoft Research e a Université Européenne de Bretagne, Rennes 2 (França) pelo apoio financeiro, e à EPAMIG pela área da Fazenda Experimental e pelos dados meteorológicos.

Referências Bibliográfica

AVOIR, D.; DUBREUIL, V. Apport des images NDVI Du satellite SPOT-végétation à l'étude de l'impact des précipitations sur les rendements de soja au Mato Grosso. In.: Colloque International Interactions Nature-Société: analyses et modèles LA BAULE Loire-Atlantique – France, 2006. Anais... France, 2006. Disponível em: http://geolittomer.univ-nantes.fr/StockageUMR/COLLOQUE/pdf/PO_ARVOR.pdf. Acesso em 1 nov. 2010.

LIU, W.T.; KOGAN, F. Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.17, n.14, p.2761-2782, 1996.

NOVO, E.M.L.M de; FERREIRA, L.G.; BARBOSA, C.; CARVALHO, C. et al. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. **Acta Amazônica** v.35, n2, p.259-272, 2005.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; EVANGELISTA, S. R. de M.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H. de; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F.; MACEDO JUNIOR, C.; PELLEGRINO G.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. **A nova geografia da produção agrícola no Brasil**. In: DECONTO, J. G. (Coord.). Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária: Unicamp, 2008. 82p. Disponível em: www.agritempo.gov.br/climaeagricultura.

RAMIREZ, G.M., ZULLO JUNIOR, J. Estimativa de parâmetros biofísicos de plantios de café a partir de imagens orbitais de alta resolução espacial. **Eng. Agríc.**, vol.30, no.3, p.468-479, 2010. Ribeiro et al (2009)

RODRIGUES, V.G.S.; CASTILLA, C.; COSTA, R.C. DA; PALM, C. Estoque de carbono em sistema agroflorestal com café em Rondônia – Brasil. In **Anais do I Simpósio de Pesquisas do Café do Brasil**. Poços de Caldas, MG. Setembro, 2000.

ROSENDO, J.S., ROSA, R. A utilização de índices de vegetação em uma tentativa de mapear o uso da terra e a cobertura vegetal. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009. Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p6141-6148. CD-ROM, On line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.12.20/doc/6141-6148.pdf>. Acesso em 1 de novembro 2010.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JUNIOR, J.C.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N.; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.501-509, 2001. Número especial Zoneamento Agrícola.

VOLPATO, M.M.L.; ALVES, H.M.L.; VIEIRA, T.G.C.; SOUZA, W.C.O de. Imagens MODIS para determinação de estiação agrícola em área cafeeira no município de Patrocínio, MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009. Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p539-545. CD-ROM, On line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.17.40/doc/539-545.pdf>. Acesso em 1 de novembro 2010.

ZULLO JÚNIOR, J. *Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações*. 1994. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.