

## Modelo de estimativa de produtividade com base no índice de vegetação melhorado para a cultura do café nos municípios de Monte Carmelo, Patrocínio, Três Pontas e Manhuaçu no Estado de Minas Gerais.

Gisele Martins Amaral<sup>1</sup>  
André Luiz Farias de Souza<sup>1</sup>  
Diego Raoni da Silva Rocha<sup>1</sup>  
Társis Rodrigo de Oliveira Piffer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Companhia Nacional de Abastecimento - Conab/GEOTE  
Caixa Postal 08582 – 70390010 – Brasília – DF, Brasil  
{giseledifferent, andrelfsouza, diegorsrocha}@gmail.com  
tarsis.piffer@conab.gov.br

**Abstract:** This study aimed to use the enhanced vegetation index (EVI) and evapotranspiration in the estimated production and productivity of coffee plantations in the municipalities of Monte Carmelo, Patrocínio, Três Pontas and Manhuaçu in the State of Minas Gerais. With EVI data, we defined the period information of 18 February 2000 to 19 December 2010. In this period, we calculated the average and maximum values of the vegetation index in the mapped area with coffee in each municipality. The predictive model is based on FAO model, but with the use of satellite information. The model was calibrated with data from years 2000 to 2007, resulting in an equation of linear trend analysis for each municipality. These results allowed to estimate the productivity of the production for the years 2008 to 2010. The results with the model generated based on vegetation index of the mapped area, estimated values close to those generated by the organs oficiais. Os best results with data from EVI were found for municipalities to Manhuaçu, Três Pontas, Monte Carmelo and Patrocínio. The results with the model generated based on vegetation index of the mapped area, estimated values close to those generated by official agencies. It should be noted that even with these different models are still considered effective because they represent the real behavior vegetative. The methodology used in this study lacks updated information, especially as the mapped areas, so the results are more precise.

**Keywords:** Remote sensing, vegetation index, EVI, MODIS, evapotranspiration, crop yield forecast, State of Minas Gerais.

### 1. Introdução

Em meio a mais de 100 espécies de café existentes, *Coffea arábica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café robusta ou conilon) correspondem a quase todo o café produzido e comercializado no mundo. O café arábica representa mais de 60% da produção mundial, cultivado comumente em altitudes superiores a 500 m, produz cafés mais finos, com melhor aroma e sabor. O café robusta, também conhecido como conilon, representa quase 40% do cultivo mundial, adaptando-se a regiões mais quentes e a altitudes abaixo de 500 m, apresenta bebida neutra, sendo empregado na fabricação de café solúvel e nas combinações com o café arábica.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a segunda estimativa de produção de café (arábica e conilon) para 2011, indica uma produção de 43,54 milhões de sacas de 60 quilos do produto beneficiado. A produção do café arábica representa 73,9% (32,18 milhões de sacas) da produção do País, e tem como maior produtor o Estado de Minas Gerais, com 67,9% (21,85 milhões de sacas) de café beneficiado.

Atualmente, eventos e variações climáticas estão sendo intensamente discutidos e, por este motivo, é de fundamental importância à realização de estudos regionais, mesorregionais, microrregionais e municipais, que visam o monitoramento do desenvolvimento de lavouras

cafeeiras e a compreensão da dinâmica da produtividade associada às variações meteorológicas. Convencionalmente, o monitoramento agrometeorológico da cafeicultura tem sido realizado em campo, porém, estudos mais recentes utilizam imagens de satélite que permitem avaliar grandes áreas a custos menores e com maior frequência de imageamento. Nesse sentido, o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) do satélite TERRA oferece, gratuitamente, imagens com alta resolução temporal. Por meio destas imagens é possível gerar diversos produtos, como o índice de vegetação melhorado *Enhanced vegetation index* (EVI).

Para gerarmos uma estimativa adequada da produção total torna-se necessário conhecer detalhadamente dois componentes, quais sejam a área cultivada com cada espécie nas diferentes regiões e o respectivo rendimento esperado por unidade de área (Assad & Sano, 1993). Outro elemento importante é o tempo, ou seja, o período de dados disponível para se observar a tendência para tal cultura.

A área foi estimada através das tecnologias de imagens de satélite georreferenciadas que consistiram no mapeamento das áreas cafeeiras. O tempo foi definido em uma série de dados correspondentes aos anos de 2000 a 2010. Finalmente, o conhecimento da produtividade antecipada do cafeeiro é fundamental para bem caracterizar a produção final e conseqüentemente a previsão de safras. A produtividade é influenciada por vários fatores, como a utilização de insumos, preços, avanços técnicos, fatores biológicos e principalmente climáticos. Este último pode ser bem caracterizado através de modelos de monitoramento agrometeorológico, que consideram que cada fator climático exerce um certo controle na produtividade por influenciar em determinados períodos críticos da cultura, como o florescimento ou formação de grãos.

De acordo com as considerações feitas, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de metodologias visando a estruturação de um sistema de monitoramento e previsão de safras para o café no Estado de Minas Gerais, amparado em novas tecnologias.

## 2. Metodologia de trabalho

Foram definidos para o estudo as seguintes áreas: No Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, os municípios com maior produção são Monte Carmelo e Patrocínio, com produção de 24.660 e 31.428 toneladas de café. Monte Carmelo se destaca na produção de café, onde há grãos de altíssima qualidade, servindo o Brasil e exterior com o café do cerrado carmelitano. A combinação adequada de clima, solo, grãos e tecnologia fazem do *café gourmet* um produto refinado. (Café gourmet - bebida e grãos do café de qualidade superior “especial”. Sua apreciação e qualificação são feitas por profissionais treinados, denominados baristas. As safras *gourmet* são vendidas, no mês de janeiro de cada ano num leilão denominado Cup of Excellence, realizado pela entidade estadunidense *The Alliance for Coffee Excellence*, onde a saca de sessenta quilos pode atingir o equivalente a 15.000 Reais).

Entre as regiões do Brasil onde ocorre o cultivo do café, o Cerrado Mineiro e a região de Mogiana, em São Paulo, são as que reúnem as melhores condições para a produção desse tipo de café. A altitude, superior a 900 metros, e o clima, frio e seco na época da colheita, são considerados ideais para o café gourmet.

Já em Patrocínio, a cidade também conhecida como “A rainha do café”, tornou-se uma das mais importantes regiões produtoras de café do Brasil. Cerca de 78% da economia está ligada ao café, com a atividade emprega-se mais de 30.000 pessoas. A cultura do café teve início na década de 1970, quando fortes geadas dizimaram as grandes fazendas do Paraná e São Paulo. A região tem um clima ameno, boa distribuição de água com um grande número de riachos, e uma precipitação anual considerada ideal para o café - cerca de 1.600 mililitros.

Na mesorregião da Zona da Mata, optou-se pelo município de Manhuaçu, também conhecido como “Capital do café de montanhas” com quantidade produzida de 20.235 toneladas de café. O desenvolvimento do café nesta região, sua principal riqueza, aconteceu com grande destaque durante o Ciclo do Ouro, no Brasil Colônia, e expandiu-se a partir de 1830, adotando o produto como sua principal cultura, e já nesta época, o café se tornou o principal produto de exportação de Minas Gerais. Entre 1822 e 1880, a região viu seu número de habitantes saltar de 20 para 430 mil pessoas. Três foram os fatores decisivos para a rápida expansão cafeeira: a fácil obtenção de terras adequadas ao cultivo; a abundância de escravos dispensados da mineração; e os altos preços do café no mercado externo.

Já na mesorregião Sul/Sudoeste de Minas, destaca-se o município de Três Pontas, também conhecido como “Cidade do café”, com quantidade produzida de 30.360 toneladas de café. Possui grande extensão e terra fértil, com sua riqueza acumulada com o café e a cana-de-açúcar. A sua privilegiada localização geográfica é fator preponderante para o seu desenvolvimento econômico, aliado a outros fatores, entre os quais destacamos:

- mão-de-obra farta, com bom nível de escolaridade; topografia suave, com altitude média de 905 metros; grande disponibilidade de recursos hídricos; clima ameno e solos férteis.

## 2.1. Aquisição e EVI (índice de vegetação melhorado)

Procedimentos realizados: 1-Utilização das estimativas de área cultivada, realizada anteriormente por técnicos da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), através de mapeamento visual com imagens Landsat TM-5, e com auxílio do software Google Earth e coordenadas da localização de lavouras. 2-A partir das máscaras das áreas mapeadas com café e do MODIS, e com o auxílio do software Ilwis obteve-se o EVI, índice "otimizado" concebido para melhorar o sinal de vegetação com maior sensibilidade em regiões de alta biomassa e monitoramento da vegetação melhorada através de uma dissociação do sinal de fundo do dossel e uma redução de influências da atmosfera.

Desta maneira, foram geradas as Figuras de 1 a 4, com os dados do EVI, e série temporal correspondente a informações de 18/02/2000 a 19/12/2010 (250 períodos de 16 dias) . Essas Figuras tratam do índice de vegetação máximo e médio para o café, e servem para observarmos o crescimento da vegetação no período analisado, que corresponde a um aumento acentuado dos índices no decorrer dos últimos anos para os municípios analisados. Isto pode se justificar devido ao aumento de área plantada.

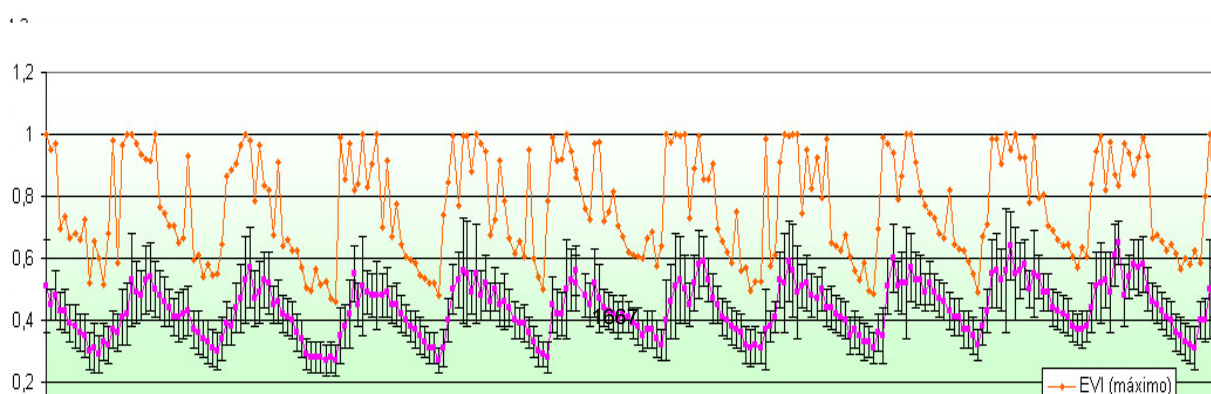
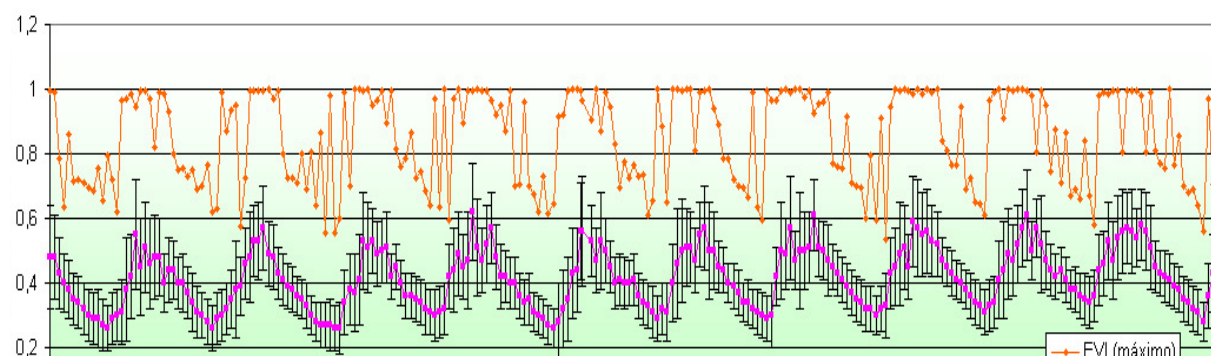


Figura 1 a 4: Série temporal do índice de vegetação máximo e médio para o café nos municípios de Monte Carmelo, Manhuaçu, Patrocínio e Três Pontas no Estado de Minas Gerais.

## 2.2. Parâmetros de produtividade

As características do solo são fatores fundamentais da disponibilidade hídrica para qualquer cultura. Segundo Matiello et al. (2005) o café, no Brasil, predomina em latossolos e argissolos, classes de solos atualizadas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2006). Não são indicados para o cafeeiro, os Neossolos Quartzarênicos, devido à textura muito arenosa e à baixa retenção de água e nutrientes, só podendo ser explorados através de tecnologias avançadas, incluindo adubações muito parceladas e irrigação contínua. Também não são indicados os Plintossolos, devido a pouca profundidade e à má drenagem (alagamento, nem os Neossolos, devido à pequena profundidade (MATIELLO et al., 2005).

De forma geral, pode-se dizer que as fases fenológicas dos cafeeiros arábica e conilon, mais exigentes em suprimento hídrico, são as seguintes: vegetação e formação de gemas foliares (fase 1); florada (fase 3) e granação dos frutos (fase 4).

Como o café é uma cultura perene e os dados fenológicos e de produtividades considerados são provenientes de cafeeiros adultos, o valor de coeficiente de cultura (Kc) adotado no cálculo do balanço hídrico se iguala à unidade ( $Kc=1$ ), assumindo-se, assim, plena cobertura do terreno pelas plantas adultas, conforme sugerido por Camargo e Pereira (1994).

Picini et al. (1999) desenvolveram e testaram, para Mococa – SP, modelos matemáticos agrometeorológicos que relacionam a fenologia, a bienalidade e a produtividade do cafeeiro, a partir de dados de produtividade de cafeeiros adultos, variedade Mundo Novo, correspondente ao período de 1966/67 a 1973/74. Esses modelos basearam-se na penalização da produtividade potencial, em função da produtividade do ano anterior e das relações ER/EP, derivados de balanços hídricos decendiais sequenciais, durante os estágios fenológicos. A penalização foi feita à medida que houve restrição hídrica para a planta, durante os diferentes estágios fenológicos, considerando coeficientes de resposta, ao suprimento hídrico, incorporados numa função aditiva ou multiplicativa. Os melhores ajustes entre dados observados e estimados foram obtidos com modelo aditivo que relaciona o fator hídrico, durante os trimestres jun/jul/ago, set/out/nov e dez/jan/fev, os quais apresentaram coeficientes de resposta ao suprimento hídrico (Ky) de +0,38 (Ky1), +0,61 (Ky2) e +0,18 (Ky3), respectivamente, para os estádios fenológicos da dormência das gemas-início do florescimento, florescimento-formação do grão e formação do grão-maturação. Seguindo estes parâmetros utilizamos a tabela a seguir:

Tabela 1. Resumo dos parâmetros utilizados na parametrização do modelo agrometeorológico-espectral.

PERÍODO	MÊS	DIA JULIANO	KY	KC
Maturação dos frutos	Abril	97		1
	Abril	113		1
	Maio	129		1
	Maio	145		1
	Junho	161	0,38	1
Repouso do cafeeiro	Julho	177	0,38	1
	Julho	193	0,38	1
	Agosto	209	0,38	1
	Agosto	225	0,38	1
Florada,	Setembro	241	0,61	1

	Setembro	257	0,61	1
	Outubro	273	0,61	1
chumbinho, e expansão dos frutos	Outubro	289	0,61	1
	Novembro	305	0,61	1
	Novembro	321	0,61	1
	Dezembro	337	0,18	1
	Dezembro	353	0,18	1
	Janeiro	1	0,18	1
	Janeiro	17	0,18	1
Granação dos frutos	Fevereiro	33	0,18	1
	Fevereiro	49	0,18	1
	Março	65		1
	Março	81		1

### 2.3. Estimativa de rendimento

A estimativa do rendimento do café reflete as condições térmicas, hídricas e de crescimento da biomassa ocorridos ao longo do crescimento da cultura. Para definição do melhor período para análise do modelo de estimativa de produtividade levamos em consideração o comportamento de produtividade desde o ano de 1990 até 2009, segundo os dados de Produção Agrícola do IBGE.

Com essas informações gerou-se a linha de tendência para cada município analisado, no qual o cálculo foi dado pela seguinte equação:  $y = mx + b$  onde  $m$  é a inclinação e  $b$  é a interseção.

E o  $R^2$  é representado por (Equação 1):

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

where

$$SSE = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

and

$$SST = \left( \sum Y_i^2 \right) - \frac{\left( \sum Y_i \right)^2}{n} \quad (1)$$

### 3. Resultados e Discussão

A aplicação do modelo levou em consideração a cultura de café no Estado de Minas Gerais, cuja (Equação 2) é dada por:

$$Y_{est} = Y_m * (1 - (k_y * (1 - (EV_{imed} / EV_{imax})))) \quad (2)$$

onde:  $Y$  = rendimento estimado (T)

$Y_m$  = rendimento médio da série estudada (T)

$K_y$  = fator de resposta à produtividade

$EV_{imed}$  = índice de vegetação médio

$EV_{imax}$  = índice de vegetação máximo

Para a calibração deste modelo utilizou-se os dados da série temporal dos anos de 2000 a 2007. Os resultados da aplicação desta equação resultaram para cada município em uma equação de tendência linear. Esses resultados possibilitaram estimar a produtividade da produção para os anos de 2008 a 2010. A seguir a Tabela 1, mostra os resultados da aplicação da equação do modelo de previsão de safra.

Tabela 1. Resultados da quantidade produzida em toneladas e rendimento em toneladas por hectare para a

<b>Manhuaçu</b>							
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(T/ha)	
2008	23958	23926	1,32	1,33	0%	1%	
2009	20235	20631	1,14	1,17	2%	2%	
2010	25047	25250	1,38	1,40	1%	2%	
<b>Monte Carmelo</b>							
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(T/ha)	
2008	25920	26408	1,92	1,96	2%	2%	
2009	24660	25745	1,80	1,88	4%	4%	
2010	31746	33087	2,22	2,32	4%	4%	
<b>Patrocínio</b>							
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(T/ha)	
2008	40315	46008	1,36	1,40	14%	3%	
2009	31428	36504	1,08	1,12	16%	4%	
2010	60228	70381	2,00	2,07	17%	4%	
<b>Três Pontas</b>							
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(T/ha)	
2008	25380	26073	1,08	1,11	3%	3%	
2009	30360	31386	1,38	1,44	3%	4%	
2010	29808	30611	1,44	1,49	3%	3%	

estimativa do modelo de previsão de safra para os municípios selecionados.

O resultado do modelo agrometeorológico gerado com base no índice de vegetação da área mapeada, estimou valores muito próximos daqueles gerados pelos órgãos oficiais. A pequena diferença sugere que o modelo proposto é viável para utilização em programas operacionais de estimativa de rendimento do café nos municípios analisados.

Este modelo demonstra ainda, ser mais prático, objetivo e econômico em sua metodologia do que os métodos tradicionais utilizados pelos órgãos oficiais.

#### 4. Conclusões

- O comportamento espectral das áreas cultivadas com café mostrou-se bastante eficaz com a utilização do EVI. Esta técnica mostra-se interessante no aprimoramento dos dados levantados por estimativas de produção.
- A aplicação desse modelo mostrou-se viável para o café em níveis municipais. Além disso, este resultado possibilita a quantificação da produção baseado em um informação consistente podendo ser utilizada no monitoramento pelas condições agrometeorológicas e espectrais.

#### Agradecimentos

A equipe da Gerência de Geotecnologia (GEOTE), da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) pela orientação e suporte na realização deste trabalho.

#### Referências Bibliográficas

Amaral, G.M.; Souza, A.L.F.; Piffer, T. R. O.; Sousa, A.O.; Santos, E.C.; Souza, L.M.M.; Oliveira, C.C. **Uso da geotecnologia para o mapeamento da cultura do café na microrregião de Ariquemes no Estado de Rondônia.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

Barbieri, V.; Tuon, R.L. Metodologia para estimativa da produção potencial de algumas culturas. Piracicaba: DFM/ESALQ/USP, 17p. 1992.

Matiello, J.B. Et al. **Cultura do café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 438p. 2005.

Moreira, M.A.; Adami, M.; Rudorff, B.F.T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.3, p.223-231, 2004.

Piffer, T. R. O.; Amaral, G.M.; Campos, P.M.; Silva, R.A.B. **Mapeamento de áreas cultivadas**. In: Companhia Nacional de Abastecimento. (Org). Agricultura e Abastecimento Alimentar: políticas públicas e mercado agrícola. Brasília: Conab, 2009. cap.4, p.312-317.

Santos, E.C.; Souza, A.L.F.; Amaral, G.M.; Sousa, A.O.; Piffer, T. R. O.; Souza, L.M.M.; OLIVEIRA, C. C. **Mapeamento da cultura do café na microrregião de Afonso Cláudio Espírito Santo, com imagens de aerofotogrametria**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

Santos, H.G. et al. (Ed.) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 306p. 2006.

Picini, A.G. et al. **Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro**. Bragantia, Campinas, v. 58, n. 1, p. 157-170, 1999.

Sousa, A.O.; Souza, A.L.F.; Amaral, G.M.; Piffer, T. R. O.; Santos, E.C.; Souza, L.M.M.; Oliveira, C.C. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto como subsídio à previsão de safra de café no Extremo Oeste Baiano**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

Souza, L.M.M.; Souza, A.L.F.; Amaral, G.M.; Sousa, A.O.; Santos, E.C.; Piffer, T. R. O.; OLIVEIRA, C. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das lavouras de café nas microrregiões de Ji Paraná, Vilhena e Colorado do Oeste em Rondônia**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.