

Caracterização Espectral de Folhas de Bananeira (*Musa spp.*) para detecção e diferenciação da Sigatoka Negra e Sigatoka Amarela

Hugo do Nascimento Bendini¹

Aline Daniele Jacon¹

Ana Carolina Moreira Pessôa¹

João Arthur Pompeu Pavanelli¹

Wilson da S. Moraes²

Flávio Jorge Ponzoni¹

Leila M. G. Fonseca¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
{hbendini, aline, ana, jpompeu, flavio}@dsr.inpe.br, leila@dpi.inpe.br

² Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – APTA - Pólo Vale do Ribeira
Caixa Postal 122 – 11900-000 – Registro - SP, Brasil
wilson_moraes@uol.com.br

Abstract. This study was based on the spectral characterization of detached leaves from banana plants affected by some fungal diseases. A comparison of two fungal leaf diseases of banana plants was conducted regarding the spectral behavior of the healthy plant as opposed to the differences found in different severity levels of both diseases. Reflectance spectra (400-2400 nm) of leaves infected in four different severity levels with the fungal pathogens *Mycosphaerella musicola* and *Mycosphaerella fijiensis* causing what is called sigatoka disease were recorded by a spectroradiometer running on in-lab conditions and analyzed for disease-specific reflectance spectra. We calculate the spectral difference and reflectance sensitivity for each wavelength emphasizing regions of high interest in the visible and near infrared region of the spectral signatures. Spectral vegetation indices related to physiological parameters were calculated and correlated to the severity of diseases. There were significant differences in the spectral characteristics of leaf samples infected with both diseases mainly in both visible and near infrared regions. The vegetation indices PSSRa, PSSRb, NDVI and SIPI showed better differentiation between the healthy and different severity levels infected plants. However, indices combinations seem to be most promising in detecting these diseases.

Keywords: Sigatoka, spectroscopy, vegetation index .

1. Introdução

A bananicultura tem grande importância social no que diz respeito à geração de empregos, área cultivada e como fonte nutricional, pois seus frutos constituem alimento básico da população, além de apresentar participação significativa na economia agrícola mundial. Em 2005, a produção brasileira de banana (*Musa spp.*) foi em torno de 7 milhões de toneladas, em uma área de 505 mil hectares com rendimento médio de 13,8 ton/ha (MAPA, 2014).

As sigatokas negra e amarela e o mal-do-Panamá são as três principais doenças fúngicas que afetam a bananeira no Brasil, constituindo, em muitas situações, os fatores limitantes ao seu cultivo, principalmente para o pequeno produtor (CORDEIRO et al., 2005). A Sigatoka amarela (*Mycosphaerella musicola*) encontra-se disseminada em todas as regiões produtoras de banana do Brasil e do mundo, provocando consideráveis prejuízos na produção de frutos (FOURÉ, 1994). Os sintomas podem ser classificados em cinco estádios, nos quais inicialmente são observadas pintas amareladas (com dimensão de aproximadamente 1mm) na superfície superior

das folhas mais novas, que evoluem para estrias de coloração amarelada, se tornando mais largas e compridas com margens não bem definidas que se misturam com a coloração normal das folhas e, ao final, se tornam marrom-claras; finalmente estas estrias se tornam manchas escuras com contorno bem definido, centro marrom e halo amarelado ao redor da lesão, até que se desenvolvem completamente, apresentando o centro de coloração cinza e bordas escuras a pretas (STOVER, 1972).

A Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) encontra-se disseminada em quase todos Estados brasileiros, excetuando-se os Estados do Nordeste, Distrito Federal e Goiás. O ciclo da doença inicia-se pela infecção das folhas mais novas da bananeira e evolui para estrias marrons na face inferior e depois para manchas negras na superfície superior, durante o desenvolvimento destas folhas (MORAES et al., 2006). Durante o processo de colonização dos tecidos da folha infectada, surgem os sintomas típicos da doença, os quais evoluem de pequenos pontos circulares de cor marrom, passando a pequenos traços a estrias, podendo ser visualizado apenas na superfície inferior das folhas mais novas. As estrias evoluem para manchas negras visualizadas na face superior da folha. Estas manchas negras coalescem rapidamente exibindo grandes manchas que originaram a denominação e a diferenciação da Sigatoka negra com a Sigatoka amarela. A presença de manchas negras indica a morte das células, paralisação do crescimento e início do amadurecimento da lesão.

Índices de vegetação espectrais (*Spectral Vegetation Index* - SVIs) são comumente usados para o monitoramento, e análise temporal e espacial da variação da vegetação (GITELSON et al., 2002). Baseados na razão entre dados provenientes de diferentes regiões espectrais, os SVIs propiciam a redução da dimensionalidade dos dados, que pode ser útil para sua efetiva análise, como por exemplo, a discriminação de doenças. Os SVIs constituem a base para diversas aplicações em sensoriamento remoto agrícola, pelo fato de estarem correlacionados com o vigor da vegetação (MAHLEIN et al., 2010). Como o conteúdo de pigmentos provê informações sobre o estado fisiológico das folhas, os SVIs, por estarem correlacionados com o teor de tais pigmentos, podem ser importantes na detecção de sintomas causados por doenças fúngicas.

A região do Vale do Ribeira é a maior produtora de banana do estado de São Paulo e possui condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da Sigatoka amarela e Sigatoka negra (CIIAGRO, 2007). A Sigatoka negra foi encontrada na região em 2004 e um ano depois se verificou que nos focos iniciais, onde as doenças coexistiam na mesma planta ou plantação, ocorreu a substituição e o domínio da Sigatoka negra pela Sigatoka amarela.

Este estudo teve por objetivo caracterizar espectralmente, folhas de bananeiras infectadas pela Sigatoka negra e Sigatoka amarela, em diferentes estádios de desenvolvimento. Para tanto, buscou-se investigar a possibilidade de detectar alterações no espectro de reflectância de folhas infectadas ainda com estádios iniciais de ambas as doenças. Adicionalmente, analisou-se o potencial dos SVIs na detecção e discriminação destas doenças.

2. Metodologia

Os materiais vegetais (folhas) para o referido estudo foram coletados em bananais comerciais localizados no município de Registro, SP, e na Fazenda Experimental da Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio (APTA Vale do Ribeira), em Pariquera-açu, SP. Dez amostras de folhas infectadas pela Sigatoka negra nos estádios 1, 2, 3 e tardios (4, 5 e 6) foram coletadas em bananeira Nanica 'Grande Naine' (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) considerada altamente suscetível a Sigatoka Negra, e outras dez amostras de folhas infectadas pela Sigatoka amarela em bananeira da variedade Calcutá (*M. acuminata* ssp. *burmannicoides* var. Calcutá), considerada altamente resistente a Sigatoka Negra, mas suscetível a Sigatoka Amarela. Ambos os bananais estavam isentos de qualquer tratamento químico, permitindo

assim o desenvolvimento natural das doenças. Para avaliação da severidade dessas doenças foi adotado o método de estimativa biológica, baseado no sistema de pré-aviso biológico desenvolvido por GANRY e MEYER (1972) para avaliar a severidade da Sigatoka amarela e que, em 1988, foi adaptado por Fouré, para estimar a severidade da Sigatoka negra (citados por OROZCO-SANTOS (1998)). De acordo com este método, cada folha infectada nos respectivos estádios precoces de desenvolvimento dos sintomas da doença (1, 2 e 3) recebe um coeficiente ou pontuação, portanto, uma avaliação qualitativa e quantitativa. Caso a quantidade do sintoma visualizado em cada folha exceder 50 unidades recebe o sinal + (mais), do contrário, recebe o sinal - (menos). Neste caso foram considerados os estádios 1+, 2+ e 3+. As amostras foram coletadas, e transportadas em sacos plásticos transparentes, até o momento da realização das medidas radiométricas em laboratório, no dia seguinte. Os sacos plásticos foram mantidos fechados, em ambiente arejado, para preservação das amostras. As medidas de reflectância foram realizadas no Laboratório de Radiometria (LARAD) da Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em São José dos Campos, SP. Espectros de reflectância foram gerados a partir da superfície inferior das folhas, utilizando o espectrorradiômetro FieldSpec PRO FR (FSP-2500P), operando na faixa espectral de 300 a 2500 nm e resolução espectral de 1 nm. Ao espectrorradiômetro foi acoplado um dispositivo denominado pelo fabricante de LeafClip (ASD), que permitiu o registro da reflectância de cada folha ou de parte delas. Os comprimentos de onda que apresentaram diferenças significativas entre as classes de severidade da doença foram investigados por meio da diferença entre os espectros, subtraindo-se a reflectância média das folhas infectadas nos diferentes estádios pela reflectância média das folhas sadias, para cada comprimento de onda. A sensibilidade da reflectância para cada comprimento de onda foi determinada pela razão entre a reflectância média das folhas infectadas e a reflectância média das folhas sadias.

Para avaliar a eficiência de índices espectrais de vegetação na identificação e discriminação entre as doenças foram calculados índices relacionados a diferentes parâmetros fisiológicos.

Neste estudo, utilizou-se o NDVI (*Normalized Difference Vegetation*), o SIPI (*Structural Independent Pigment Index*), o PSSRa/PSSRb (*Pigment Specific Simple Ratio for chlorophyll a/b*), ARI (*Anthocyanin Reflectance Index*), REP (*Red Edge Position*) e o TCARI (*Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index*), conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Índices de vegetação e as respectivas equações.

Índice	Equação ^a	Relacionado a:	Referência
<i>Normalized difference vegetation index</i>	$NDVI = (R800 - R670)/(R800 + R670)$	Biomassa/área foliar	Rouse <i>et al.</i> (1974)
<i>Structural independent pigment index</i>	$SIPI = (R800 - R445)/(R800 + R680)$	Carotenóides: razão de clorofila a	Penuelas <i>et al.</i> (1995)
<i>Pigments specific simple ratio</i>	$PSSRa = R800/R680$ $PSSRb = R800/R635$	Clorofila (a/b)	Blackburn (1998)
<i>Anthocyanin reflectance index</i>	$ARI = (1/R550) - (1/R700)$	Antocianina	Gitelson <i>et al.</i> (2001)
<i>Red edge position</i>	$R_{RE} = R670 + R780/2$ $REP = 700 + 40(RRE - R700)/(R740 - R700)$	Ponto de inflexão da borda do vermelho	Guyot and Baret (1988)
<i>Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index</i>	$TCARI = 3[(R700 - R670) - 0,2(R700 - R550)(R700/R670)]$	Razão de clorofila a	Haboudane <i>et al.</i> (2002)

^a Reflectância no comprimento de onda indicado.

Análises de correlação entre os índices de vegetação foram realizadas para ambas as doenças. A relação entre os índices foi determinada com base no coeficiente de determinação (R^2), de forma que os SVIs que apresentaram redundância de informação foram desconsiderados. Os dados dos SVIs foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis, com nível de significância (α) de 5%. Nos casos onde houve diferença significativa adotou-se o teste de Dunn para comparações múltiplas ($p > 0,05$).

3. Resultados e discussões

Os espectros de reflectância em folhas de bananeira sadia e com diferentes estádios de desenvolvimento dos sintomas analisados são mostrados na Figura 1A e 1B. As mudanças na reflectância ao longo do espectro caracterizaram a ocorrência dos diferentes níveis de severidade de cada doença. Para Sigatoka amarela, a curva espectral das amostras de folhas que apresentavam sintomas no estágio 1 apresentou menor reflectância na faixa do verde (500 a 600 nm) e aumento no NIR, em relação as folhas sadias. A redução da reflectância na faixa do visível, especificamente na região do verde, pode estar associada à presença dos primeiros sintomas da doença. Neste estágio, também pôde ser observada maior reflectância em 1400 e 1900 nm, bandas características de absorção de água, o que sugere que uma possível perda de água pela folha, devido à ação do patógeno (RODRÍGUEZ-GAVIRIA; CAYÓN, 2008).

Nas amostras de folhas com estágio 2 observou-se comportamento muito similar ao do estágio 1, caracterizando os estádios iniciais da Sigatoka amarela. No estágio 3, foi possível notar maior reflectância na faixa do azul (400 a 500 nm) e vermelho (600 a 700 nm), possivelmente associada a maior degradação, pelo fungo, dos pigmentos envolvidos na fotossíntese. Nos estádios tardios (4, 5 e 6), a curva de reflectância sofreu modificações no VIS, principalmente na região de 680 nm.

No NIR o comportamento típico de vegetação sofreu pronunciada modificação na região de 710 a 1300 nm, associada a intensa degradação da estrutura foliar, observada nestes estádios. A redução do teor de água no tecido foliar nestes estádios pode ser inferida pela maior reflectância nas bandas específicas de absorção de água (1400 e 1900 nm) em relação às folhas sadias. Os estádios tardios apresentaram diferença máxima em os comprimentos de onda de 690, 1340, 1620 e 1830 nm, em relação à folha sadia (Figura 1C). Os comprimentos de onda de maior sensibilidade (Figura 1E), que apresentaram maiores valores na relação entre os diferentes níveis de severidade da doença e as folhas sadias, foram de 650 nm no VIS e de 1900 nm no NIR, mostrando que, considerando o universo amostral deste presente estudo, esses foram os comprimentos de onda mais sensíveis para a detecção dos sintomas tardios.

Para as amostras de folhas com estágio 1 da Sigatoka negra (Figura 1B), a curva espectral no VIS manteve-se muito próxima a curva característica de folhas sadias, porém a reflectância aumentou no NIR. As curvas espectrais para amostras com estádios 2 e 3 caracterizaram a degradação dos pigmentos fotossintetizantes, pela maior reflectância no azul (400 a 500 nm) e no vermelho (600 a 700 nm). A maior reflectância em 1400 e 1900 nm, supostamente devido a um menor teor de água, também foi uma das características destes estádios. Nos estádios tardios (4, 5 e 6) a curva de reflectância perdeu a característica típica da vegetação, possivelmente pela degradação do tecido fotossintético causada pelo fungo.

Diferenças espectrais entre folhas doentes e folhas saudáveis (Figura 1D) foram percebidas ao longo do espectro, porém foram melhor caracterizadas no NIR, como uma diferença expressiva na borda vermelha (700 a 830 nm), região característica de stress na vegetação. Os estádios tardios apresentaram diferença máxima no visível em 640 e 680 nm e diferenças negativas no NIR, em 750 e 850 nm. Os comprimentos de onda de maior sensibilidade (Figura 1F) foram em torno de 650 nm no VIS e 1900 e 2100 nm no NIR.

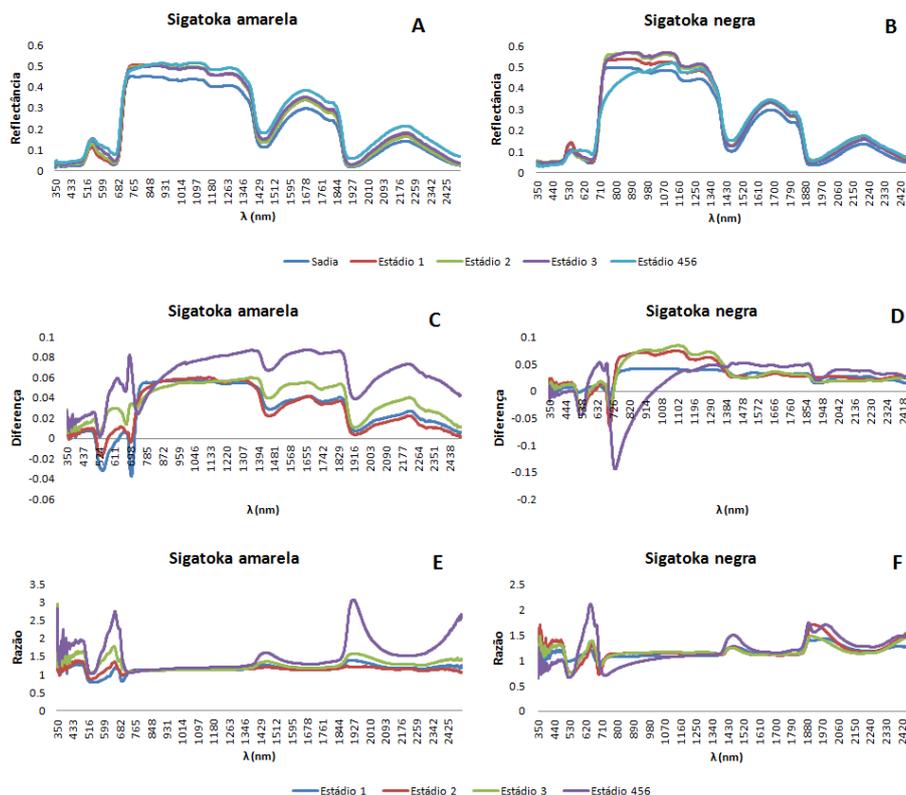


Figura 1: Curvas espectrais para os diferentes estádios de desenvolvimento dos sintomas da Sigatoka amarela, diferença espectral entre as folhas saudias e os estádios, e a razão entre as folhas saudias e os estádios, respectivamente (A, C e E); Curvas espectrais para os diferentes estádios de desenvolvimento dos sintomas da Sigatoka negra, diferença espectral entre as folhas saudias e os estádios, e a razão entre as folhas saudias e os estádios, respectivamente (B, D e F).

Seis índices de vegetação foram calculados e analisados, quanto a suas relações com parâmetros fisiológicos distintos da vegetação para cada doença. Para tanto, uma análise de correlação foi realizada entre os índices, para identificar redundância daqueles fortemente correlacionados (Figura 2).

Os gráficos de dispersão de NDVI, PSSRa, PSSRb e SIPI apresentaram altos coeficientes de correlação, indicando redundância entre esses índices. Assim como observou-se variação na relação dos índices de vegetação com os diferentes estádios de desenvolvimento dos sintomas das doenças. O NDVI foi sensível na detecção dos efeitos das doenças, uma vez que houve diminuição da diferença entre a reflectância no NIR e aumento da reflectância na faixa do vermelho. Para as doenças, os valores de NDVI tenderam a diminuir com o avanço nos estádios, pois ambas provocam alterações no comportamento espectral em diferentes regiões, possivelmente devido às alterações na estrutura foliar e redução do tecido fotossintético. De modo que os baixos valores observados nos estádios mais avançados foram esperados, devido aos sintomas típicos de cada doença. Pois, ao longo do desenvolvimento da folha na planta medida o fungo promove a degradação dos tecidos verdes e, por conseguinte, dos pigmentos responsáveis pela fotossíntese, como a clorofila a e clorofila b (RODRÍGUEZ-GAVIRIA; CAYÓN, 2008).

Os índices sensíveis a esses pigmentos, PSSRa e PSSRb, mostraram tendência de diminuição dos valores com a evolução de ambas as doenças, com exceção do PSSRb para Sigatoka negra, aumentou do estágio 1 para o estágio 2, sendo que a partir deste estágio, os

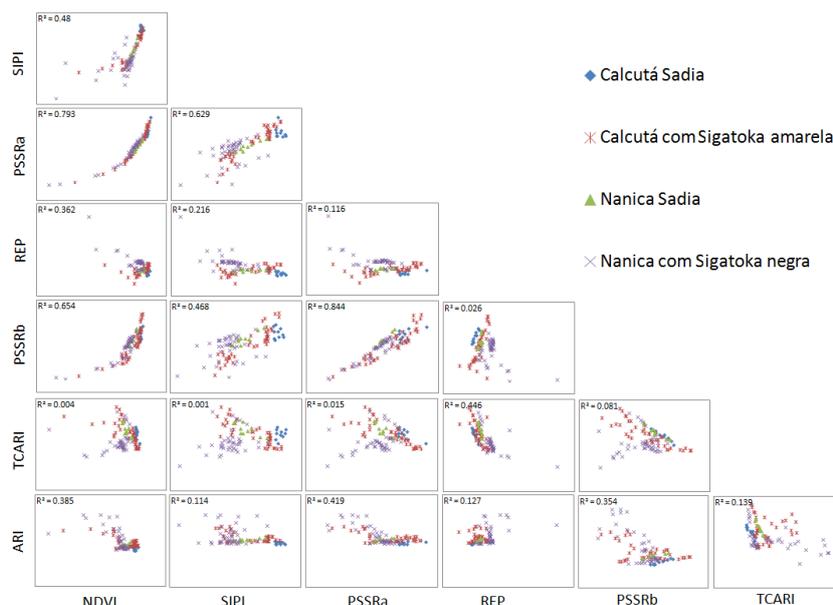


Figura 2: Gráfico de dispersão das diferentes combinações dos índices de vegetação: matrizes de espalhamento divergentes indicam combinações de índices que podem ser usadas para distinguir folhas saudias de folhas doentes e os sintomas da Sigatoka amarela de Sigatoka negra.

valores tenderam a diminuir.

A região espectral da borda do vermelho, entre 680 nm e 750 nm, registra a transição de reflectância da vegetação máxima e mínima, respectivamente, sendo possível o estabelecimento de índices de vegetação (GUYOT; BARET, 1988), como o RRE e o REP. Por se tratar de uma média simples entre a reflectância no vermelho e infravermelho, o RRE não variou entre os três primeiros estádios da Sigatoka amarela, sugerindo poucas alterações na borda do vermelho para esses estádios. No entanto, este índice evidenciou que, enquanto a folha sadia apresentaram baixos valores, os estádios mais avançados apresentaram altos valores. Essa tendência pode estar relacionada ao aumento da reflectância do vermelho, devido a diminuição da atividade fotossintética a uma taxa mais alta que a diminuição da reflectância do infravermelho, resultando em valores mais altos. Para a Sigatoka negra, os valores de RRE aumentaram da folha sadia à folha com estágio 2, e estabilizou em folhas com estágio 3. Assim como na Sigatoka amarela, mas os últimos estádios apresentaram menor valor, possivelmente devido à maior diminuição da reflectância no NIR. O REP considera o RRE mais os comprimentos de onda de 700 nm e 740 nm e não evidenciou nenhuma tendência para a Sigatoka amarela, pois observou-se aumento no valor da folha sadia à folhas com estágio 1, seguido essa diminuição até os estádios tardios, com valores parecidos com os observados em folhas saudias. A Sigatoka negra apresentou tendência de crescimento dos valores de REP com a evolução dos estádios de desenvolvimento dos sintomas da doença, o que não condiz com as tendências observadas por outros autores em outras culturas (MAHLEIN et al., 2012). No presente estudo, constatou-se uma possível particularidade da influência da Sigatoka negra no espectro da reflectância em folhas de bananeira, considerando o universo amostral desta pesquisa.

O acúmulo de antocianina nas folhas é induzido por fatores ambientais, como radiação UV-B, baixas temperaturas, seca e infecção por bactérias e fungos (GITELSON; MERZLYAK; CHIVKUNOVA, 2001). Contudo, os valores de ARI para ambas as doenças estudadas mostram tendência de crescimento do estágio 1 para os estádios mais avançados, evidenciando uma resposta da folha ao agente patogênico com o aumento da antocianina. O TCARI foi elaborado a partir do MCARI, a fim de compensar as variações de refletância, características

de materiais não fotossintetizantes, para aumentar a sensibilidade às baixas quantidades de clorofila (HABOUDANE et al., 2002). Analisando o TCARI para a Sigatoka amarela pôde-se notar aumento desses valores entre os estádios 1 e 4, mas não apresentou um padrão de valores, quando analisados para a Sigatoka negra. O SIPI é sensível à relação entre carotenoides e clorofila, sendo que para a Sigatoka amarela os valores entre os estádios seguiram um padrão de diminuição com o desenvolvimento da doença. Para a Sigatoka negra observou-se o mesmo padrão de diminuição no valor de SIPI da folha saudável ao estádio 2, mas com aumento no estádio 3 e estabilização no estádio 4.

Considerando um nível de significância de 5%, todos os índices calculados para ambas as doenças apresentaram diferenças significativas entre as amostras. Sendo assim, testes de comparações múltiplas foram realizados para todos os índices. Para a Sigatoka amarela, a análise da comparação dos diferentes estádios de desenvolvimento dos sintomas da doença com folhas saudias, o NDVI, PSSRa e PSSRb foram capazes de separar significativamente os sintomas no estádio 4. Para esta doença, SIPI detecta a presença da doença no estádio inicial. O índice de REP mostrou diferenças nos estádios 1 e 2, porém não foi capaz de detectar diferença nos estádio mais tardios, mostrando incoerência dos dados.

Para a Sigatoka negra, o NDVI, PSSRa e PSSRb se comportaram de forma semelhante. O índice ARI também foi capaz de detectar a doença no estádio 4. O SIPI diferiu na não detecção do estádio 4 da doença. O REP também se mostrou coerente, sendo capaz de detectar a presença da doença desde o estádio 2.

A ausência de diferenças significativas nos índices entre os estádios não era esperada. Tal incoerência pode estar associada ao pequeno universo amostral utilizado no presente trabalho, apenas 10 amostras. Além disso, existe subjetividade na identificação visual dos estádios precoces e tardios da doença em campo, incorporando incertezas nas análises.

Em última análise normalizou-se os valores dos índices no estádio 1 para cada doença, pelas amostras de folhas saudias (Figura 3).

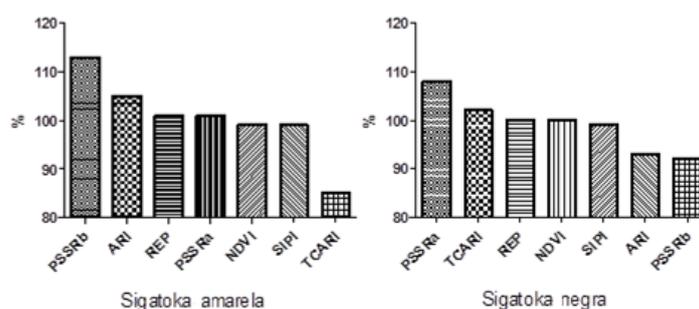


Figura 3: Valores percentuais obtidos pela normalização dos índices, referentes ao primeiro estádio de desenvolvimento dos sintomas da Sigatoka amarela e Sigatoka negra em relação aos obtidos em folhas saudias.

Com índices normalizados foi possível verificar qual deles mostrou-se mais sensível a mudanças provocadas pela doença já no estádio 1. Para a Sigatoka amarela, o PSSRb foi o índice mais sensível à mudanças no estádio 1, enquanto para a Sigatoka negra foi o PSSRa. Portanto, a clorofila constitui um elemento importante para a detecção das mudanças espectrais provocadas pelo fungo.

Considerando a correlação entre PSSRa e PSSRb com NDVI e SIPI e a coerência que estes índices mostraram nos resultados obtidos, pode-se propor que este grupo de índices tende a mostrar maior sensibilidade na detecção e diferenciação entre os diferentes estádios

de desenvolvimento dos sintomas das doenças, principalmente para os estádios iniciais ou precoces, que são de interesse da fitopatologia, para que medidas de controle químico ou cultural sejam adotadas em tempo hábil.

4. Considerações finais

Diferenças evidentes foram observadas no comportamento espectral das amostras das folhas afetadas pela Sigatoka amarela e Sigatoka negra, tanto na magnitude, quanto na forma da curva, principalmente nas regiões na faixa do visível e do infravermelho próximo. Porém, tais diferenças são mais evidentes nos estádios iniciais das doenças. Os índices de vegetação foram importantes para a diferenciação entre folhas saudáveis e folhas infectadas, sendo que alguns deles possibilitaram uma análise quantitativa das doenças. Pelos resultados obtidos, pode afirmar que os índices PSSRa e PSSRb, apresentaram maior sensibilidade na detecção dos estádios iniciais da Sigatoka negra e Sigatoka amarela, respectivamente. O presente estudo apresenta uma abordagem inicial para o entendimento do comportamento espectral de folhas de bananeira infectadas e não infectadas pelas respectivas doenças fúngicas, apesar de não permitir uma análise conclusiva. No entanto, releva-se a importância do desenvolvimento de trabalhos futuros que possam caminhar na direção da detecção e diferenciação dessas doenças, por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

Referências

- CIIAGRO. *Balanço hídrico da região do Vale do Ribeira*. [S.l.], 2007.
- CORDEIRO, Z. J. M. et al. *Manual para identificação e controle da sigatoka-negra da bananeira*. Cruz das Almas, BA, 2005.
- FOURÉ, E. Leaf spot disease of banana and plantain caused by *mycosphaerella musicola* and *m. fijiensis*. In: *In: International network for the improvement of banana and plantain*. [S.l.: s.n.], 1994. p. 47–53.
- GANRY, J.; MEYER, J. P. La lutte contrôlée contre le cercospora aux Antilles. bases climatiques de lavertissement. technique d'observation et numération de la maladie. *Fruits*, v. 27, p. 767–774, 1972.
- GITELSON, A. A. et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of the Environment*, v. 80, p. 76–87, 2002.
- GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and Photobiology*, v. 74, p. 3845, 2001.
- GUYOT, G.; BARET, F. Utilisation of high spectral resolution for monitoring vegetation condition. In: GUYENNE, T. D.; HUNT, J. J. (Ed.). *Proceedings of 4th international colloquium spectral signatures of objects in remote sensing*. France, 1988. p. 279–286.
- HABOUDANE, D. et al. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, v. 81, p. 416–426, 2002.
- MAHLEIN, A. K. et al. Spectral signatures of sugar beet leaves for the detection and differentiation of diseases. *Precision Agric*, v. 11, p. 413–431, 2010.
- MAHLEIN, A. K. et al. Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases. *Plant methods*, v. 8, n. 1, 2012.
- MAPA. *Agricultura Brasileira em Números: Anuário 2005*. [S.l.], 2014.
- MORAES, W. D. S. et al. Behaviour of black sigatoka in banana plantations of the ribeira valley, sao paulo, brazil. In: *In: Anais da XVII Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisas sobre Banana no Caribe e América Tropical (ACORBAT)*. Joinville, SC, Brazil: [s.n.], 2006. p. 656–661.
- OROZCO-SANTOS, M. *Manejo Integrado de la Sigatoka Negra Del Platan*. Mexico, DF, 1998.
- RODRÍGUEZ-GAVIRIA, A. A.; CAYÓN, G. Efecto de *mycosphaerella fijiensis* sobre la fisiología de la hoja de banana. *Agronomía Colombiana*, v. 26 (2), p. 256–265, 2008.
- STOVER, R. H. *Banana, plantain and abaca disease*. Washington, USA, 1972.