

Utilização de Índice de vegetação na classificação integrada de fragmentos florestais em Mata Atlântica de Tabuleiros no Município de Sooretama, ES

FERNANDO VIEIRA AGAREZ¹
RAÚL SÁNCHEZ VICENS²
CARLA MADUREIRA CRUZ²
CLÁUDIA ROMANELI NOGUEIRA²
IRENE GARAY²

¹Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Rio de Janeiro - RJ, Brasil
agarez@biologia.ufrj.br

¹Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Caixa Postal 68537 – CEP 21945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
rcuba@igeo.ufrj.br

Abstract: The aim of the present work is to develop a classification of forest fragments based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), as a tool for the biodiversity recuperation and conservation of the “Tabuleiro” Atlantic Forest, located in Sooretama, north of Espírito Santo State. The characterization of some patterns of NDVI for a group of forest fragments of distinct shape, size and history, analyzed by phytosociological indicators, enabled the creation of a classification based on human interference and its application in 214 fragments of this municipality. A multiple regression analysis using this indicator lead to the development of a model, in which the fragments are classified into tree types considering the trees diversity: high, medium and low.

Keywords : vegetation index, NDVI, fragmentation, biodiversity

1 Introdução

A Mata Atlântica outrora íntegra ocupava cerca de 15% do atual território brasileiro, ao longo da costa, constituindo um dos mais ricos biomas brasileiro. Todavia, através de cinco séculos, em épocas e intensidade distintas, sempre crescentemente, foi submetida a diversos processos de antropização, acarretando significativa redução de oferta de serviços ecológicos, com sérias implicações para a sustentabilidade ambiental em algumas regiões. Uma das causas mais significativas da redução e modificação da diversidade biológica no planeta é o fenômeno da fragmentação dos ecossistemas, cuja conservação é uma questão global. A fragmentação da Floresta Atlântica iniciou-se no século XVI e foi acelerada, ao longo do tempo, pela fixação do homem na zona costeira, bem como pela expansão da fronteira agrícola, destacando-se na história econômica, os ciclos da cana de açúcar e café. Conseqüentemente, originaram-se fragmentos florestais de diferentes tipos.

O Estado do Espírito Santo na atualidade, fruto desse processo de degradação, que na década de 50 exibia aproximadamente 30% de sua área florestada, hoje possui apenas 9% (Fundação Mata Atlântica, 2000), sendo que em relação à Floresta Atlântica de Tabuleiros, dos 30% que existiam no final da década de 50, hoje restam apenas 2% (Jesus, 1987). Diante desta situação, surge a necessidade de elaborar novos modelos de gestão ambiental que considerem a

conservação e recuperação dos habitats ameaçados, a fim de fornecer subsídios às políticas regionais para uso sustentável da biodiversidade. Para tal, além da necessidade de dados sobre a estrutura, composição e dinâmica dos fragmentos, é também desejável o desenvolvimento de metodologias que possibilitem a análise e monitoramento dos fragmentos em outras escalas com vistas a otimização de tempo e recursos. Neste contexto, o presente trabalho visa identificar, quantificar e qualificar remanescentes florestais com diversos graus de antropização, associando-os a um índice de vegetação obtido por sensoriamento remoto, afim de instrumentalizar a partir de imagens Landsat5 TM, a geração de uma tipologia de fragmentos que esteja associada à variação da biodiversidade arbórea

A área de estudo corresponde ao município de Sooretama, no Norte do Estado do Espírito Santo, cuja superfície com cerca de 45% de área florestada é dominada por colinas tabulares de 28m a 60m de altitude, formadas sobre rochas pré-cambrianas e recobertas de sedimentos inconsolidados de origem continental, depositados durante o Terciário Superior e início do Quaternário - o Grupo Barreiras (Amador, 1982).

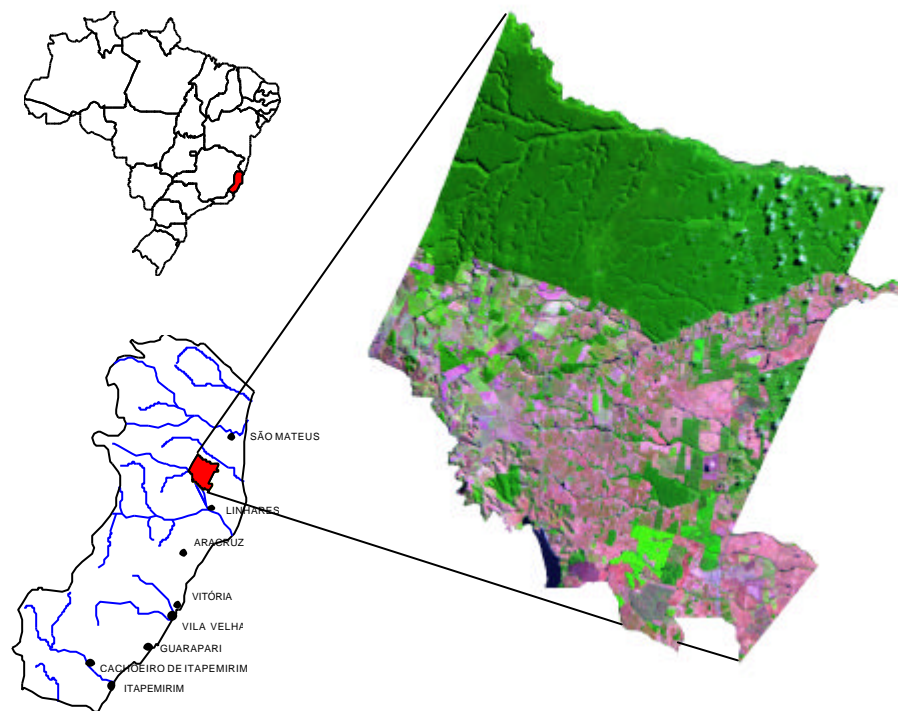


Figura 1: Localização da área de estudo

A vegetação enquadra-se como Floresta dos Tabuleiros Terciários (Rizzini, 1987). Peixoto *et al.* (1995), na elaboração de diagrama de perfil e de cobertura da Floresta Densa de Tabuleiros, verificou a presença de três estratos arbóreos, estratos arbustivos e estratos herbáceos ralos. O estrato arbóreo superior apresenta-se descontínuo, as árvores têm alturas entre 19-31m (média de 24m) e o dossel atinge 40m. O estrato intermediário é constituído por árvores de 11 a 18m de altura (média de 14m). O estrato inferior, árvores de 6 a 10m (altura média de 8m). Atualmente existem apenas duas grandes manchas destas florestas entre o Norte do Estado do Rio de Janeiro e o Sul do Estado da Bahia, representadas pela Reserva Biológica de Sooretama (26.000 ha), administrada pelo IBAMA e pela Reserva Florestal de Linhares (22.000 ha) pertencente à Cia Vale do Rio Doce que em conjunto correspondem aproximadamente a 50% da floresta de Tabuleiros na região. Essas áreas, em um diagnóstico preliminar, juntamente com fragmentos de

vários tamanhos, formas, estrutura, composição, grau de isolamento, tipos de vizinhança e histórico de perturbação, permitiu identificar uma matriz dominada por pastagens e áreas agrícolas, em que se destaca a cultura de café.

2 Materiais e Métodos

A identificação das áreas de fragmentos florestais e a conseqüente associação destas com o índice de vegetação foi viabilizada através de imagens digitais LANDSAT5 TM, órbita 215, ponto 073, quadrante C de 09/09/1997. O processamento digital foi realizado utilizando os sistemas *SPRING/ANPE* e *IDRISI/Clark University*.

A metodologia utilizada parte da obtenção de um Mapa de Uso da Terra, gerado pela aplicação de um modelo linear de mistura espectral nas imagens TM-Landsat e sua posterior segmentação e classificação supervisionada por regiões.

No módulo Modelo de Mistura do *SPRING* foram geradas imagens sintéticas espelhando as proporções de cada componente da mistura dentro dos pixels, isto é, a partir das bandas originais foram obtidas imagens-fração sintéticas, correspondentes aos componentes vegetação, solo e água. Nas imagens-fração foi aplicado o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões, disponível no *SPRING* e, a seguir, foi executada uma classificação supervisionada por regiões, pelo algoritmo de distância de “Battacharya”. A classificação foi ajustada em campanha de campo através de roteiros de verificação com auxílio de GPS, gerando o Mapa de Uso da Terra.

A partir do mapa de Uso da Terra, foi realizado um procedimento no *IDRISI* de isolamento da classe correspondente à floresta, gerando um mapa de fragmentos florestais, contendo áreas de reservas e fragmentos remanescentes do entorno.

Objetivando a geração de uma tipologia de fragmentos, foi gerada uma imagem-índice de vegetação, a partir do índice de vegetação da diferença normalizada (*NDVI - Normalized Difference Vegetation Index*). Tal índice, é baseado em uma combinação aritmética que focaliza o contraste entre os modelos de respostas da vegetação nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo. A reflectância da cobertura vegetal na banda vermelha é baixa, aparecendo nas imagens em tons de cinza escuros, devido à absorção da clorofila existente nas folhas. Entretanto, no infravermelho próximo apresenta alta reflectância com tons de cinza claros devido a dispersão causada pela estrutura das folhas (Lillesand & Kiefer, 1994). Assim, o *NDVI* está relacionado com a densidade de vegetação e é obtido pela equação (Rouse *et al.*, 1973):

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$$

onde *NIR* corresponde aos valores de reflectância na banda do infravermelho próximo e *RED* aos valores de reflectância na banda do vermelho.

A partir do mapa de fragmentos florestais (**figura 2**), foi feita uma individualização dos polígonos correspondentes aos 214 fragmentos de área maior ou igual a 1ha. A seguir foi realizado um processo de extração de valores na imagem-índice de vegetação, obtendo os parâmetros amostrais de *NDVI* (médias e de desvio padrão) para todos os fragmentos florestais do município. Com os valores das médias e desvio padrão, foram elaborados intervalos para a reclassificação da imagem *NDVI*, gerando uma tipologia dos remanescentes florestais.

Foi estabelecido um modelo de regressão em função dos indicadores de *NDVI* e diversidade arbórea partir do qual foi implementada a geração de uma imagem –índice de diversidade.

Análise espacial e fitossociológica dos fragmentos

Foram analisadas a composição florística e estrutura da composição arbórea em sete parcelas distintas, localizadas em seis fragmentos florestais. Tendo como referência o grande fragmento florestal representado pela Reserva Biológica de Sooretama, foram eleitos cinco outros fragmentos de distintos tamanhos (grandes e pequenos) situados a diferentes distâncias desta Reserva (próximos e afastados) localizados em propriedades particulares e públicas (**figura 2**):

- Reserva Biológica de Sooretama (SOO): área nuclear com cerca de 46.000 ha;
- Fazenda Pasto Novo (FPN): fragmento florestal com aproximadamente **66.8** ha.
- Sítio São Pedro (SSP): fragmento florestal com aproximadamente **6.8** ha.
- Bioparque de Sooretama (BPS): fragmento situado na área urbana da sede do município de Sooretama, envolvendo área aproximada de **33.3** ha.
- Fazenda Santa Helena (FSH): fragmento com cerca de **40.2** ha.

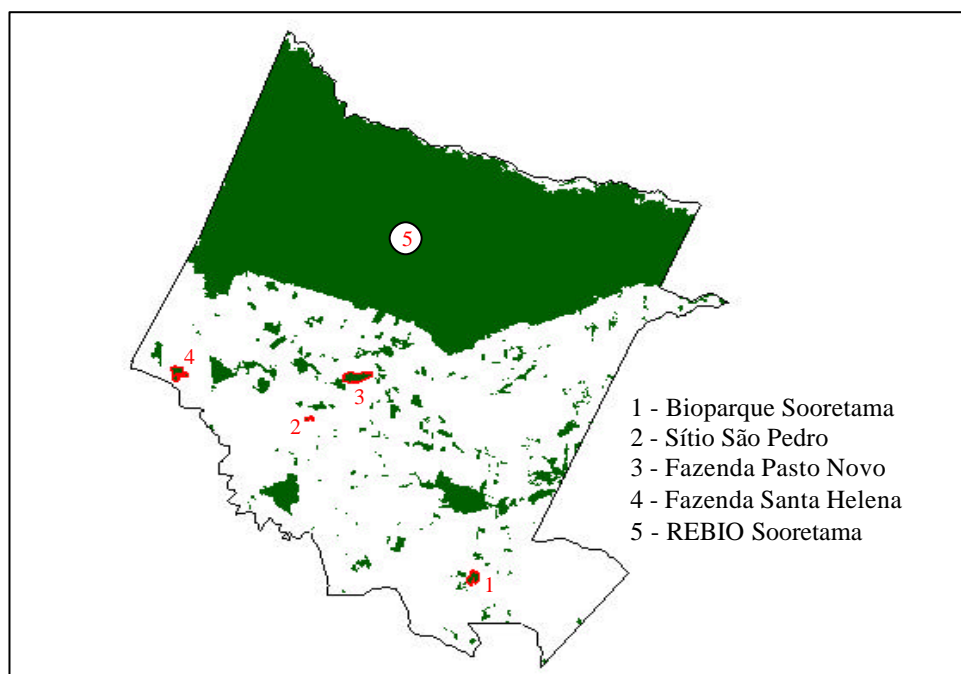


Figura 2: Localização dos Fragmentos no município de Sooretama

A análise fitossociológica empregou o método de parcelas permanentes recomendado pelo PROBIO/MMA (Programa Nacional para Conservação e Utilização da Diversidade Biológica/Ministério do Meio Ambiente). Assim, em cada fragmento analisado, foram estabelecidas quatro parcelas de 25m x 50m, contíguas e distantes entre si 50m, totalizando, em cada fragmento, uma área inventariada de um ha. Logo, a área total inventariada atingiu cinco ha.

Em cada sistema foram inventariadas árvores vivas com diâmetro igual ou superior a 5 cm, totalizando 5545 indivíduos, distribuídos em 877 espécies. Uma vez identificada a composição florística foi elaborada a lista de espécies arbóreas dos diferentes fragmentos, viabilizando a identificação de espécies comuns ou exclusivas de cada sistema, bem como a caracterização da diversidade hierárquica, o índice de diversidade da cobertura arbórea - índice de Shannon-Wiener (1979 *in* Ludwig & Reynolds, 1988) e o estabelecimento da Taxa de Cobertura das

diversas espécies. Essa taxa é constituída pela soma dos parâmetros relativos de dominância (estimada pela área basal do total de indivíduos de um determinado táxon por hectare) e densidade (representado pela porcentagem do número de indivíduos de um determinado táxon em relação ao total de indivíduos cadastrados) das diversas espécies (Castro, 1987, *apud* Rodal *et al.*, 1992).

3 Resultados e Discussão

A **figura 3** apresenta uma classificação dos fragmentos florestais em função de seus valores médios de NDVI. Nos cinco fragmentos amostrados foram registradas médias entre 0,23 e 0,4, correspondendo os menores valores de amplitude e desvio padrão à amostra da Reserva Biológica de Sooretama e os maiores, ao fragmento de maior grau de antropização (**tabela 1**). Os valores médios de NDVI foram agrupados em 4 classes: inferiores a 0,26, onde ficou incluído o fragmento da Fazenda Santa Helena (FSH); 0,26 – 0,34; 0,34 – 0,42, onde estão incluídos os fragmentos do Sítio São Pedro (SSP) e do Bioparque de Sooretama (BPS); 0,42 – 0,50, onde se incluem o fragmento da Fazenda Pasto Novo (FPN) e a Reserva Biológica de Sooretama (SOO).

Tabela. 1: Caracterização de fragmentos florestais segundo parâmetros de NDVI

Fragmentos	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude
Rebio Sooretama	0.47	0.02	0.40	0.54	0.13
Fazenda Pasto Novo	0.44	0.05	0.18	0.53	0.35
Bioparque de Sooretama	0.41	0.05	0.28	0.54	0.25
Sítio São Pedro	0.39	0.04	0.20	0.46	0.26
Fazenda Santa Helena	0.23	0.12	0.00	0.47	0.47

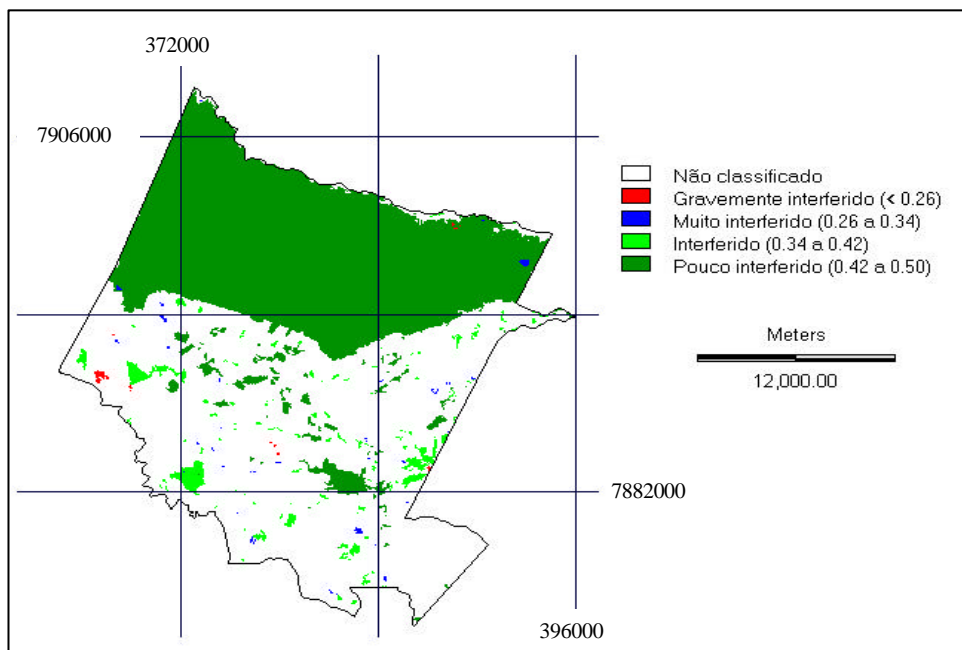


Figura 3: Classificação dos Fragmentos através do NDVI

Estes valores médios de NDVI, comparados com os resultados produzidos na análise da composição florística e da estrutura arbórea, permitem inferir padrões de relacionamento entre tais indicadores fitossociológicos dos fragmentos florestais com seus valores médios de NDVI. A **tabela 2**, mostra os valores médios de NDVI e os valores dos índices e indicadores fitossociológicos para os cinco fragmentos analisados.

Tabela 2: comparação entre fragmentos através de NDVI e indicadores fitossociológicos.

Fragmentos	NDVI ¹	Diversidade (H') ²	Nº Espécies ³	Nº Indivíduos ⁴	Taxa Cobertura. ⁵
Rebio Sooretama	0.47	4.51	202	1356	476
Fazenda Pasto Novo	0.44	4.66	197	1214	474
Bioparque de Sooretama	0.41	4.41	185	1095	583
Sítio São Pedro	0.39	4.46	168	1071	564
Fazenda Santa Helena	0.23	3.12	125	809	445

A **tabela 3** mostra os coeficientes de correlação entre os parâmetros de NDVI (média e desvio padrão) e os indicadores fitossociológicos dos fragmentos florestais (diversidade arbórea, no de espécies, no de indivíduos e total de indivíduos das 25 espécies com maiores taxa de cobertura). A forte correlação negativa entre a média e o desvio padrão (-0,97), ilustra como o valor médio de NDVI se relaciona com a heterogeneidade do fragmento, indicando a existência de áreas com menor densidade foliar, e mesmo clareiras, dentro do fragmento.

Tabela 3: correlação entre NDVI e indicadores fitossociológicos dos fragmentos florestais

	Média NDVI	Desvio NDVI	Diversidade (H')	Nº Espécies	Nº Indivíduos	Taxa Cobertura
Média NDVI	1,00	-0,97	0,95	0,98	0,69	-0,80
Desvio NDVI	-0,97	1,00	-0,94	-0,92	-0,68	0,73
Diversidade (H')	0,95	-0,94	1,00	0,89	0,53	-0,62
No Indivíduos	0,69	-0,68	0,53	0,79	1,00	-0,94
No Espécies	0,98	-0,92	0,89	1,00	0,79	-0,90
Taxa Cobertura	-0,80	0,73	-0,62	-0,90	-0,94	1,00

A forte correlação direta dos valores médios de NDVI com a diversidade arbórea (0,95) e o número de espécies (0,98), assim como a menor relação com o número total de indivíduos (0,69), coincide com os resultados obtidos por Vicens *et al.* (1998) para parcelas similares na Reserva Florestal de Linhares, próximo à área de estudo. Em relação ao número de indivíduos das 25 espécies com maior taxa de cobertura, a média de NDVI apresentou uma correlação forte, porém inversa (-0,80). Este fato explica-se pela análise neste trabalho de fragmentos florestais com alto grau de interferência antrópica. Como a taxa de cobertura depende tanto da dominância como da densidade de uma determinada espécie na parcela, em fragmentos muito antropizados,

¹ Valores médios de NDVI

² Índice de Diversidade de Shannon-Wiener

³ Total de espécies em toda a parcela de cada fragmento

⁴ Total de indivíduos em toda parcela de cada fragmento

⁵ Total de indivíduos das 25 espécies com maiores Taxa de Cobertura

espécies pioneiras, com grande número de indivíduos, incluem-se entre as de maior taxa de cobertura, ao contrário das parcelas no interior das áreas florestadas pouco interferidas, onde existem vários estratos, com as espécies pioneiras, secundárias, secundárias tardias e clímax, estas últimas geralmente apresentando maiores taxas de cobertura, pois exibem uma grande dominância em função da significativa área basal. Nos fragmentos interferidos, as espécies de maior taxa de cobertura correspondem a espécies pioneiras e secundárias, com grande densidade populacional, sendo que os indivíduos possuem caules de diâmetro reduzido e copas pouco desenvolvidas.

Os altos valores de correlação permitiram fazer agrupamentos entre os fragmentos analisados segundo o grau de similaridade do seus valores médios de NDVI e do índice de Diversidade (**figura 4**).

A análise de regressão múltipla conduziu ao estabelecimento de um modelo que possibilitou a geração de uma imagem-índice de diversidade para o conjunto de fragmentos do Município de Sooretama, que considera como variáveis independentes, a média e o desvio padrão de NDVI (equação 1). Nesta imagem distingue-se três grupos de fragmentos, considerando a análise integrada dos mesmos: 49 fragmentos com índices

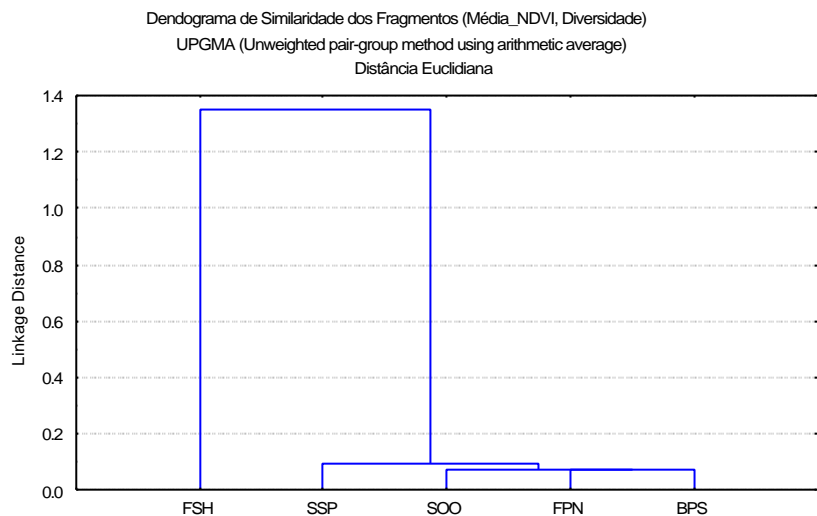


Figura 4: Dendrograma de similaridade entre fragmentos

variando entre 2,70 e 4,00; 120 variando entre 4,00 e 4,50; e 45 entre 4,50 e 4,93 (**figura 5**). Os resíduos obtidos para os fragmentos analisados em campo com a aplicação do modelo foram inferiores a 4%, exceto para SOO (6,4%) o que é justificado pelo fato da área amostrada ter sofrido efeito de borda. A hierarquia dos fragmentos quanto o grau de integridade obtida no modelo coincidiu com a produzida pela análise dos indicadores fitossociológicos.

$$H' = 2,54073 + 4,96162 * Média_NDVI - 4,03141 * Desvio_NDVI \quad (\text{equação 1})$$

4 Conclusões

O sensoriamento remoto a nível orbital constitui-se em excelente recurso para coleta de dados biológicos, disponibilizando informações rápidas e confiáveis, viabilizando a análise de recursos naturais e monitoramento eficaz das alterações da paisagem através dos Sistemas de Informação Geográficas (Crósta, 1992, Brito & Rosa, 1994; Xavier da Silva, no prelo). Ao se analisar de forma integrada indicadores de sensoriamento remoto e fitossociológicos, encontra-se uma estreita relação entre NDVI, grau de interferência, diversidade arbórea e taxa de cobertura (Vicens *et al.*, 1998; Vicens *et al.*, no prelo). Em geral, os maiores valores de NDVI e diversidade (H') são registrados em áreas com maiores dimensões e histórico de reduzida antropização e contrariamente, os menores valores foram constatados em fragmentos pequenos e com histórico de intensa ação de desmatamento: serrarias, carvoarias, formação de pastagens,

agricultura e urbanização. No pequeno fragmento do Sítio São Pedro a diversidade constatada sugere que áreas cuja antropização não é grave, o processo sucessional que se estabelece a seguir pode conduzir a uma expressiva diversidade.

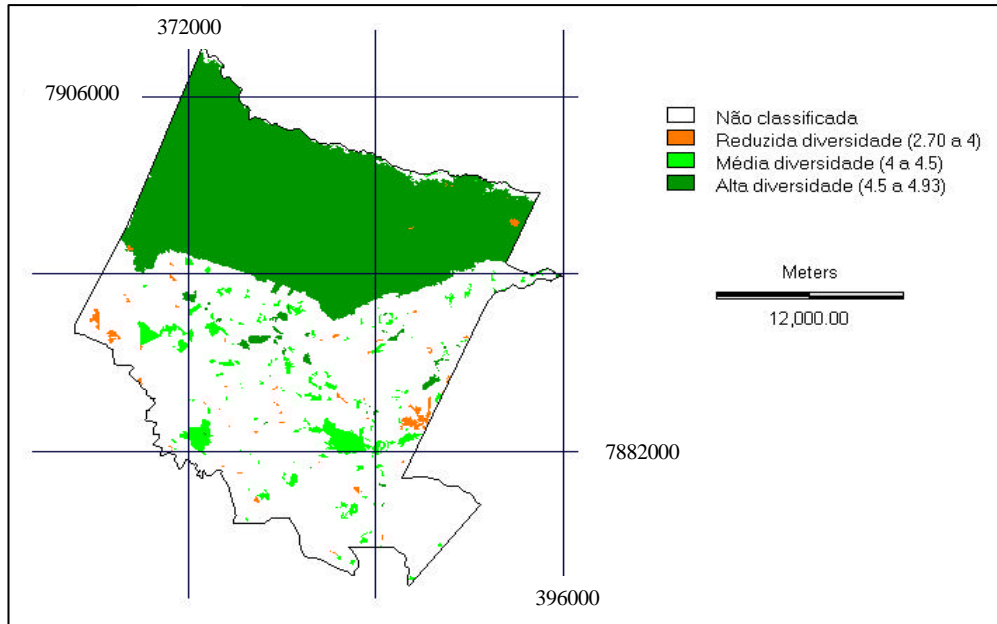


Figura 4: Classificação Integrada dos Fragmentos quanto à Diversidade Estimada

A caracterização de padrões de NDVI para os diversos fragmentos pesquisados fitossociologicamente possibilitou o desenvolvimento de uma tipologia de fragmentos e sua aplicação ao conjunto do Município de Sooretama. Desta forma, a possibilidade de aplicação desta metodologia pode representar uma mudança de escala na pesquisa sobre biodiversidade e fragmentação florestal, ao nível da região, acarretando uma expressiva redução da demanda de tempo e de recursos humano e material, bem como subsidiar a tomada de decisões quanto a medidas com vistas à sustentabilidade em várias dimensões, dentre outras, recuperação de áreas degradadas, estabelecimento de corredores florestais, formação de banco de sementes, aumento de oferta hídrica.

Tanto sob o ponto de vista do sensoriamento remoto quanto fitossociológico, foi possível disjuntar o conjunto analisado, em uma primeira aproximação, em três grupos: alta diversidade, média diversidade e reduzida diversidade. No primeiro tipo enquadram-se SOO e FPN; no grupo de média diversidade localizam-se SSP e BPS, ao passo que FSH integra o grupo de reduzida diversidade. Tal classificação estendida através do sensoriamento remoto ao universo de fragmentos florestais do Município de Sooretama, configurou um quadro geral da diversidade arbórea no Município.

5 Referências bibliográficas

Amador, E. da S. Depósitos relacionados à unidade inferior do Grupo Barreiras no Estado do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, 1982, Salvador, **Anais...** Salvador, 1982. V.4, 1982, pp. 01-61.

- Brito, J.L.S. Rosa, R. Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica. **Sociedade & Natureza**, 6 (11 e 12), 1994, pp. 61-78.
- Crósta, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP. 1992, 170p.
- Fundação Mata Atlântica. **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados**. Disponível na internet via [http:// www.sosmatatlantica.org.br/atlas/atlas.html](http://www.sosmatatlantica.org.br/atlas/atlas.html)/ Arquivo consultado em 2000.
- Jesus, R.M. de. Mata Atlântica de Linhares - aspectos florestais; a experiência da Cia Vale do Rio Doce. In: seminário sobre desenvolvimento econômico e impacto ambiental em áreas de Trópico Úmido Brasileiro, 1987, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro, 1987 p.35-71.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley & Sons, 3a Ed., New York, 1994, 750p.
- Ludwig, J.A. & Reynolds, J.F. **Statistical ecology; a primer on methods and computing**. San Diego, Wiley Interscience. 1988. 337p.
- Peixoto, A.L., Rosa, M.M.T., Joels, L.C.M. Diagrama de perfil e de cobertura de um trecho da floresta de tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica** 9, 1995, pp 177-193.
- Rizzini, C.T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, 1997, 747p.
- Rodal, M.J.N., Sampaio, E.V.S. & Figueiredo, M.A. **Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico; ecossistema caatinga**. São Paulo, Sociedade Botânica do Brasil. 1992. 23p.
- Rouse, J.W.Jr., Haas, R.H., Deering, D.W., Schell, J.A., Harlan, J.C. **Monitoring the Vernal Advancement and retrogradation (Green Wave Effect) of Natural vegetation** NASA/GSFC. Type III Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371p.
- Vicens, R.S. Cruz, C.B.M. Rizzini, C.M. Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Análise da Cobertura Vegetal da Reserva Florestal de Linhares, ES, Brasil. **In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Santos, SP. 1998 p 11.
- Vicens, R.S. Marques, J.S. Cruz, C.B.M. Argento, M.S.F. Garay, I. **Sensoriamento Remoto E Sig Como Suporte Ao Desenvolvimento Do Subprojeto Probio “Conservação E Recuperação Da Floresta Atlântica..** Rio de Janeiro: Editora Vozes, 12p, no prelo.
- Xavier da Silva, J. *et al.* **Geodiversidade: Um Índice**. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 17p, no prelo.