



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIENCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

NATALÍCIO DE MELO RODRIGUES

**A ESTRADA COMO ELEMENTO FRAGMENTADOR DE ECOSISTEMAS:
ANÁLISE DA ESTRUTURA DA ZONA DE AMORTECIMENTO DO PARQUE
NACIONAL DO CATIMBAU COMO CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA
ECOLOGIA DA PAISAGEM**

RECIFE - PE

2010

NATALÍCIO DE MELO RODRIGUES

A ESTRADA COMO ELEMENTO FRAGMENTADOR DE ECOSSISTEMAS: ANÁLISE DA ESTRUTURA DA ZONA DE AMORTECIMENTO DO PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU COMO CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA ECOLOGIA DA PAISAGEM

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Geografia da Universidade Federal de
Pernambuco como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em Geografia

Doutorando:

Natalicio de Melo Rodrigues

Orientadora:

Profa. Dra. *Eugênia Cristina Gonçalves Pereira*

Co-orientadores:

Profa. Dra. *Josiclêda Domiciano Galvêncio*

Prof. Dr. *Fernando de Oliveira Mota Filho*

Recife, PE

2010

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

R696e Rodrigues, Natalício de Melo.

A estrada como elemento fragmentador de ecossistemas : análise da estrutura da zona de amortecimento do Parque Nacional do Catimbau como contribuição ao estudo da ecologia da paisagem / Natalício de Melo Rodrigues. – Recife: O autor, 2010.

122 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eugênia Cristina Gonçalves Pereira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2010.

Inclui bibliografia.

1. Geografia. 2. Ecologia das paisagens. 3. Estradas. 4. Impacto

NATALÍCIO DE MELO RODRIGUES

Tese defendida publicamente em 24/01/2011

Profa. Dra. *Eugênia Cristina Gonçalves Pereira*

ORIENTADORA

Prof. Dr. *Antonio Carlos de Barros Corrêa*

Prof. Dr. *Marcelo Tabarelli*

—

Prof. Dr. *Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann*

Profa. Dra. *Maria Lúcia Brito da Cruz*

Recife, PE – 2010

AGRADECIMENTOS

Jesus Cristo

Faculdade de Formação de Professores de Belo Jardim - PE

Diretora-Presidente /AEB: Bernardina Santos Araújo de Souza

Profa. Dra. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira

Prof. Dr. Fernando de Oliveira Mota Filho

Em especial:

Doutora Josiclêda Domiciano Galvêncio

Elvis Bergue Mariz Moreira

Em memória de:

Manoel Correia de Andrade (1922 - 2007)

Joaquim Correia de Andrade

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Estruturas de rede elétrica inseridas em uma faixa de domínio da BR 232, proximidades do município de Tacaimbó-Pe. A vegetação em regeneração em primeiro plano foi retirada para evitar que o seu crescimento e posteriores incêndios provoquem circuitos e interfiram na distribuição de energia. (Autor: Natalício Rodrigues, 2008).	32
Figura 2 No plano superior observa-se a vegetação contínua exercendo a função de corredor. No plano inferior a rodovia BR – 232 (Luiz Gonzaga) passa sob o túnel Cascavel e fragmenta uma matriz, gerando impactos ambientais pelo contínuo fluxo de veículos. (Autor: Natalício Rodrigues, 2008).	33
Figura 3 À esquerda observam-se a rodovia BR – 232 (Rodovia Luiz Gonzaga), fragmentando um recorte de uma matriz e criando uma barreira, e o consequente efeito borda nas proximidades do município de Pombos – PE, um exemplo típico do denominado-se na pesquisa de efeito estrada. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2008).	34
Figura 4 Distribuição da malha rodoviária no Brasil no século XIX (A); na década de 70 (B) e no ano 2000 (C). Fonte: Atlas Geográfico Escolar do IBGE (2006), modificado pelo autor com base em: Flogliatti e Goudar (2004).	41
Figura 5 Limites do PN do Iguaçu (339.530.00 ha) em mancha verde escuro, sob pressão urbana, sobretudo pelo município de Foz do Iguaçu (mancha verde claro). Fonte: Google, 2009.	44

- Figura 6** Localização do Parque Nacional do Catimbau localizado em Pernambuco (quadro em cor vermelha), segundo distribuição dos biomas brasileiros. **46**
Fonte: IBAMA. (2008).
- Figura 7** A ZA do Parque Nacional (Linha pontilhada) circunda o PNC em um área de 10 Km, abrangendo partes dos municípios de Buique, Tupanatinga, Ibimirim, Sertânia, e Arcoverde. Fonte: S.N. E. (2002). Modificado pelo autor. **47**
- Figura 8** Mapa Geológico da ZA do PNC: ao norte e ao leste predomina Embasamentos Pré-Cambrianos; ao sul os Sedimentos da Bacia do Jatobá e Coberturas cenozoicas. **49**
Fonte: (CPRM, 2001, escala original: 1:500.000). Modificado. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues. 2010).
- Figura 9** Mapa hipsométrico da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau (PNC). O polígono em linha preta corresponde às áreas da ZA e do PNC. A Mancha vermelha e o compartimento que representa retalhos do Planalto da Borborema. Fonte: Landsat 5 (2008). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2010). **51**
- Figura 10** Observa-se na que na ZA do PNC, compartimentos da Depressão Sertaneja ao norte em cor marrom. Ao Leste em cor verde de textura rugosa retalhos do Planalto da Borborema, e ao sul, predomina textura plana e em cor verde parte da Chapada da Bacia do Jatobá. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2011). Fonte: Fonte: Imagem ©GeoEye /© Cens Spot Imagem 2011. (Modificado pelo autor, 2011). **53**
- Figura 11** Representação esquemática das Unidades Taxonômicas proposta. As escalas espaciais variam da maior vista no alto da figura como **55**

sexto Táxon, a escala menor de 6º Táxon. Fonte: Ross (1992).

- Figura 12** Exemplos de impactos de primeiro nível (A) uma picada no meio do canavial elucidada o primeiro estágio embrionário de uma estrada, constituindo uma clareira de aspecto ora sinuoso ou retilíneo e com poucas braças de largura e um diminuto fluxo de pessoas, e transporte de tração animal (Serra do Pio - zona rural - Belo Jardim-PE); (B) a estrada adquire um perfil mais regular para permitir fluxo de veículos automotores ampliando os impactos ambientais em decorrência do consumo de solo (estrada do Sítio Mulungu, Buique – PE). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009). **59**
- Figura 13** Impactos de segundo nível: (A) exemplo de danos à fauna nas margens da PE 270 que conecta o município de Arcoverde e Buique – PE; (B) disposição de lixo na faixa de acostamento ao longo da rodovia BR 232, próximo a Serra dos Pereiros nas proximidades de Arcoverde, inserida na ZA do PNC. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009). **60**
- Figura 14** Impactos ambientais de terceiro nível. (A) sucatas de automóveis abandonados nas rodovias PE 260; (B) restos de pneus oriundos de borracharias na área de acostamentos da BR 232 no município de Cruzeiro do Nordeste –PE. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009). **61**
- Figura 15** Impactos de quarto nível em rodovias. (A) inserção de rede elétrica na faixa de domínio da rodovia BR 423 nas proximidades da cidade de Delmiro Gouveia-AL; (B) posto de gasolina inserido na faixa de domínio da BR 232, município de Cruzeiro do Nordeste. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009) **61**
- Figura 16** Impactos de quinto nível se dar quando as atividades econômicas **62**

se expandem além dos limites da faixa de domínio. A esquerda um condomínio de luxo instala-se a margem da BR 232 em Gravatá – PE. A direita a vila do Catimbau, constitui um exemplo efetivo da expansão do efeito estrada. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2010).

- Figura 17** Representação de uma estrada simples de mão dupla. Ao centro vê-se em cor preta a faixa principal por onde se dá o fluxo de veículos, a faixa mais estreita amarela estabelece a divisão definindo os dois sentidos de trafego mão e contramão totalizando 7 metros. O segundo componente é a faixa utilizada para estacionamento denominado por acostamento e representado pela cor cinza, esse setor mede 2,50 m para cada faixa, totalizando mais cinco 5 m a largura da estrada. Por fim, completando os componentes da estrada, a cor creme que representa a faixa de domínio que acrescenta 28 m à sua largura, totalizando um uso de solo por estrada de 40 metros. Exemplo, trecho da BR 232, km 250. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009). **63**
- Figura 18** Representação uma estrada de duas vias de mão dupla. Partindo centro vê-se em cor preta a faixa principal por onde se dá o fluxo de veículos, a faixa mais estreita amarela estabelece a divisão definindo os dois sentidos de trafego mão e contramão totalizando 14 metros. O segundo componente é a faixa utilizada para acostamento representado pela cor cinza, com 2,50 m para cada faixa, totalizando mais cinco 5 m à largura da estrada. Completando os componentes da estrada, a cor creme representa a faixa de domínio que acrescenta 28 m à sua largura, totalizando um uso de solo por estrada de 47 m. Exemplo, trecho duplicado da BR 232 nas proximidades do município de Gravatá (PE). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009) **64**
- Figura 19** Alteração da Matriz da ZA do P.N.C vem sendo acelerada pelo **66**

efeito estrada. As linhas amarelas representam as mais de 60 agrovias que fragmentam o habitat da ZA; as linhas brancas as rodovias federais e estaduais. Os polígonos em cor vermelha as áreas em uso na prática agrária e outros serviços. As manchas em cor laranja as manchas urbanas. Os fragmentos de Caatinga estão circundados por linhas verdes.

Fonte: Imagem ©GeoEye /© Cens Spot Imagem 2011. Modificado pelo autor.

- Figura 20** Evolução de uma estrada em diferentes estágios. (A) representação de uma situação em que a vegetação esta intacta. Nessa condição não há o efeito estrada. Exemplo, os testemunhos na área do Parque Nacional do Catimbau com inserção de redes antecedendo o efeito estrada. Proximidades de Arcoverde. (B) estágio onde a trilha evolui para uma estrada de terra os primeiros sete metros do efeito estrada são assegurados. Exemplo a estrada vicinal do Catimbau em Buique – PE. (C) o asfaltamento da estrada, o acostamento, e a faixa de domínio ampliam o efeito estrada, consumido 40 metros de solo. Exemplo margem da BR 232 nas proximidades do limites do Parque Nacional do Catimbau. (D) da ocupação da faixa de domínio por torres de energia elétrica. Situação real na BR 232 nas proximidades do município de Tacaimbó-PE. (E) representação esquemática do estágio final. Exemplo um posto de gasolina nas proximidades da BR 232 no distrito de Cruzeiro do Nordeste do município de Sertânia-PE. (Autor: Natalício Melo Rodrigues, 2010). **68**
- Figura 21** Redes viárias nos Parques Nacionais brasileiros **72**
Fonte: Guia Quatro Rodas (2008); Guia Philips dos Parques Nacionais (2003). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).
- Figura 22** A distribuição da matriz do transporte no Brasil mostra o predomínio do transporte rodoviário, situação que se refletiu na **72**

política de parques.

Fonte: ANT (2005) com modificações do autor.

- Figura 23** Uso e forma de ação das estradas nos Parques Nacionais brasileiros **73**
Fonte: Guia Philips dos Parques Nacionais (2003); Guia Quatro Rodas (2008). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2010).
- Figura 24** Tipos de estradas ou de acesso aos Parques Nacionais brasileiros. **74**
Fonte: Guia Philips dos Parques Nacionais (2003); Guia Quatro Rodas (2008). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2010).
- Figura 25** Percentual da inserção de estradas nos Parques Nacionais brasileiros ou em suas Zonas de Amortecimento. **75**
Fonte: Guia Philips dos Parques Nacionais (2003); Guia Quatro Rodas (2008). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2010).
- Figura 26** Números relativos e percentuais das estradas dos Parques Nacionais brasileiros **75**
Fonte: Guia Philips dos Parques Nacionais (2003); Guia Quatro Rodas (2008). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).
- Figura 27** Principais rodovias de acesso (federais, estaduais e vicinais) ao Parque Nacional do Catimbau e sua forma de inserção no Parque e sua Zona de Amortecimento. **76**
Fonte: Guia Quatro Rodas (2008), com modificações.
- Figura 28** Rodovia federal BR 232, uma das principais da região, penetra na Zona de Amortecimento do Parque Nacional do catimbau entre os municípios de Cruzeiro do Nordeste e Arcoverde –PE. À direita observa-se a serra dos Pereiros onde a mata ainda se encontra preservada;. à esquerda um extenso pediplano. **77**
(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

- Figura 29** BR-110 que conecta o município de Ibimirim a Cruzeiro do Nordeste e possui forte relação com o Parque Nacional do Catimbau e sua Zona de Amortecimento. **77**
(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).
- Figura 30** Rodovia PE 270, principal eixo de ligação ao Parque Nacional do Catimbau e com os municípios de Buíque e Arcoverde. **78**
(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).
- Figura 31** Vicinal do Carneiro no município de Buíque (PE), estrada secundária com 7 km que fragmenta a Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau e permite acesso ao Sítio arqueológico do Alcobaça **79**
(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).
- Figura 32** Vicinal do Catimbau com mais de 16 km de extensão, dos quais 6 374 m percorrem os limites do Parque Nacional do Catimbau, e cerca 3.505 m transpõem sua área interna, constituindo a principal via de acesso à UC e eixo de ligação com a Vila do Catimbau e sede do município de Buíque – PE **79**
Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).
- Figura 33** Limite teórico da Zona de Amortecimento (Polígono pontilhada rosa); o do Parque Nacional do Catimbau (Polígono azul), a inserção das estradas federais, estaduais, e vicinais (Linhas brancas); as agrovias (Linhas amarelas cheias). Os marcadores com numeração localizam os sete fragmentos de habitats. **81**
Fonte: Imagem ©GeoEye /© Cens Spot Imagem 2011. Modificado.
- Figura 34** Modelo de mensuração do efeito estrada e consumo de área verde. **82**
Os quadros em cores alternadas preta e branca é a escala de aferição, todos os quadrados equivalem a 5 m. No primeiro quadro

a estrada de terra em cor laranja ocupa na escala os primeiros 5 m; no segundo, a estrada asfaltada ocupa 7 metros e faixa de acostamento na cor cinza 5 m, totalizando 12 m, no terceiro quadro há inserção da faixa de domínio ocupando um total de 40 m, por fim o efeito máximo teórico de 47 m, porém na prática pode atingir até 50 m, em razão dos obstáculos centrais que vão dividir a rodovia. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2010).

- Figura 35** Fragmentação do bioma Caatinga por inserção de estradas secundária (agrovias) no setor sul. As linhas vermelhas mostram as rodovias principais do setor, as azuis os percursos das estradas secundárias. A inserção das estradas secundárias ampliou o número de fragmentos de quatro para 32 e reduziu as áreas de mata. As áreas escuras são os fragmentos de mata preservada. As áreas brancas solo exposto e o cinza claro áreas degradadas. Fonte: Banda 3 19/07/2007 do satélite Landsat 5.TM (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009). **84**
- Figura 36** Composição 5/4/3 R/G/B da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau em 2001, demonstrando a cobertura vegetal da ZA no ano de 2001. A cor verde representa maior densidade de vegetação. Fonte: Imagem Landsat 5 TM. Cena 215/66 de 15/05/ 2001. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009). **86**
- Figura 37** Composição 5/4/3 R/G/B da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau em 2001, onde é possível observar padrões de mudança na vegetação. A cor verde representa maior densidade de vegetação. Fonte: Imagem Landsat 5 TM. Cena 215/66 de 19/07/ 2007. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009). **87**
- Figura 38** Representação de mosaico em NDVI da Zona de Amortecimento **89**

do Parque Nacional do Catimbau em 15/05/2001. A área em cor branca representa a área do P.N.do Catimbau, o polígono exterior colorido é a Zona de Amortecimento. As cores dos quadros da legenda rerepresentam os índices de NDVI, esses variam de menor em cor rosa (<0,10) ao maior em cor marrom escura (>0,70).

(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2010).

- Figura 39** Representação em NDVI da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau (PNC) em 19/07/2007. Em 2007 observa-se que o padrão de cores dominantes visto em 2001 foi modificado. Os níveis que representam os melhores índices de NDVI ficaram concentrados no setor Sul e nos locais de cotas altimétricas elevadas. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2010). **92**
- Figura 40** Lixão do Cigano nas coordenadas S. 8°37'24"; W.37°13'49" constitui um significativo exemplo do efeito estrada presente na vicinal do Catimbau na Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau. **91**
(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2004).
- Figura 41** Vistas das feições geomorfológicas da Zona de Amortecimento de Parque Nacional do Catimbau (PE). A linha pontilhada amarela delimita a ZA, a cheia amarela o limite do parque. **92**
Fonte: Image©GeoEye /© Cens Spot Image 2011.
- Figura 42** Amostra de Caatinga arbustiva nas proximidades da rodovia BR 232 nas proximidades do município de Arcoverde (37° 33'0"W e 8°27'30"S). **95**
(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2008).
- Figura 43** Um extenso pediplano com vegetação arbustiva domina o setor norte, no horizonte onde o morro testemunho do Chapéu. 10/04/2009. (37°12'0"W e 8°16'0"S). O NDVI nesse setor atingiu **96**

o nível $< 0,11$.

(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

- Figura 44** Precipitação pluviométrica (mm) ao longo do ano de 2001, segundo dados dos postos meteorológicos dos municípios de Arcoverde e Buíque (PE). Fonte: Dados do ITEP/LAMEPE (2009). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009) **97**
- Figura 45** Precipitação pluviométrica (mm) ao longo do ano de 2007, segundo dados dos postos meteorológicos dos municípios de Arcoverde e Buíque (PE).
Fonte: Dados do ITEP/LAMEPE (2007). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009) **97**
- Figura 46** Segmento da Zona de Amortecimento do Parque nacional do Catimbau (PNC), setor Norte, onde se situa o eixo rodoviário. A linha pontilhada na cor vermelha mostra o limite do PNC. As manchas na cor laranja e marrom são retalhos das escarpas da Borborema, onde se concentram os melhores índices de NDVI (0,70). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009). **98**
- Figura 47** NDVI do entroncamento rodoviário da BR 110 em Cruzeiro do Nordeste, BR 232 nas proximidades de Arcoverde em 2001. Observa-se que os menores índices de NDVI (azul $0,11 < 0,20$) aparecem próximos às estradas. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009). **99**
- Figura 48** O entroncamento rodoviário BR 232, BR 110 e PE 360 em 2007 apresentaram um novo padrão de distribuição do NDVI. Em 2007 os níveis de NDVI ($0,11 < 0,20$) aparecem bem nítidos e concentrados nos eixos rodoviários, elucidando uma tendência de menor vegetação nas proximidades das estradas, apontando uma forte relação entre o efeito estrada e a redução da vegetação. **100**

(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

- Figura 49** Imagem de satélite do eixo rodoviário do setor norte da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau. No entorno d BR 110 e a BR 232 o NDVI apresentou redução de vegetação. (Modificado pelo autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).
Fonte: Googlemapas.com (2009). **100**
- Figura 50** Histograma de frequência do eixo rodoviário norte em 2001 e 2007 da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009). **101**
- Figura 51** Recorte espacial da área que abrange o eixo sul da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau em 2007. O quadro menor representa a área onde se deu a alteração na cobertura vegetal, e nesse recorte onde se localiza o principal eixo de entroncamento rodoviário.
(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009). **103**
- Figura 52** Recorte elucidando a mudança do NDVI na escala temporal de 2001 e 2007. A imagem de 2001 na parte superior aparece na cor verde, e a imagem de 2007 em cor marrom. Essa diferença de cor em 2001 se deu pela ausência de chuvas; ao contrário em 2007 as precipitações pluviométricas refletiram na elevação do o índice acima de $<0,50$. Duas manchas brancas podem ser observadas nas duas figuras: a menor e a esquerda representa a lagoa do Riacho; à direita a mancha maior é a barragem do Mulungu que foi ampliada pela captação de chuvas; a mancha na cor azul é a área urbana de Buíque - PE. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009). **105**
- Figura 53** Barragem do Mulungu – Buíque – PE após as precipitações do ano de 2007. (“08°37’51” W e 37°07’49”S)
(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009). **105**
- Figura 54** Distribuição do NDVI no entorno da vicinal do Catimbau e PE **107**

270. Em 2001 o delineamento da estrada não é perceptível, entretanto os menores índices registrados foi na borda na PE 270 que pode ser visto em azul e índice 0,11.

(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

- Figura 55** Distribuição do NDVI no entorno da Vicinal do Catimbau e PE 270. Em 2007 devido as chuvas a vegetação absorveu muita umidade e diminui a reflexão da energia solar; a alta umidade elucidou o perfil das estradas, identificando as área desmatadas com menor índices de NDVI 0,11 (manchas em azul). (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009). **107**
- Figura 56** Histograma do eixo sul da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau (2001). A coluna de números á esquerda mostra a variação dos pixels. Estes, quanto maiores mais vegetação. Os números horizontais representam os níveis de NDVI registrados pelo sensor. As colunas verticais se distribuem em uma boa faixa de NDVI tendo como centro a média de 0,36. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009). **110**
- Figura 57** Histograma do eixo sul da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau (2007). Observa-se que houve um aumento na base da pirâmide e o NDVI teve uma distribuição mais irregular. Essa variação se deve ao fato da área ser de exploração agrícola e grande variação de plantações. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009). **110**
- Figura 58** A Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau em 2001, nas áreas próximas à Pedra do elefante ($37^{\circ}13'50''W$ e $8^{\circ}36'49''$), tinha uma cobertura vegetal de Caatinga bastante conservada (ao fundo) com valor de NDVI de 0,31. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2000). **111**

- Figura 59** Em 2004 uma grande clareira é aberta nas coordenadas S.08°36'12"W. 37°13'49" próximo à Pedra do Elefante. Inicia-se o desmatamento da para plantio de cajueiros (*Anacardium occidentale*). **112**
Foto: Natalício de Melo Rodrigues, 2004.
- Figura 60** Em 2007, próximo à vicinal do Catimbau a caatinga é retirada para o plantio de cajueiros. **112**
Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009.

LISTA DE TABELAS E QUADROS

	Página
Tabela 1 Distribuição de rodovias, suas condições e números de automóveis “ <i>per capita</i> ” em diferentes países. Fonte: CIA World Factbook (2009).	38
Tabela 2 Distribuição categorizada (extensão, percentual e pavimentação) das rodovias no Brasil, segundo suas regiões naturais.	42
Tabela 3 Valores utilizados no cálculos do NDVI disponíveis no INPE. As datas indicadas na colunas da esquerda correspondem as datas da passagem do satélite Landsat 5. As linhas registram os dados da declinação solar; ângulo zenital; distância relativa Terra - Sol, em relação a posição do sensor do satélite.	50
Tabela 4 Parques Nacionais brasileiros e o papel exercido pelas estradas e redes com base nos dados da literatura. EE (Efeito Estrada); ZA (Zona de Amortecimento).	69
Tabela 5 Extensão de rodovias e consumo do solo na Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau	82
Tabela 6 Número de fragmentos de Caatinga em função da inserção de rodovias estaduais, federais e agrovias na Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau	84
Tabela 7 Comparativo da variação de NDVI da zona de amortecimento do Parque Nacional do Catimbau.	93
Tabela 8 Representação das medidas de tendência central do histogramas provenientes dos recortes da Zona de	102

Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau.

Tabela 9	Análise comparativa dos valores de NDVI do setor sul da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau	108
Quadro 1	Principais tipos impactos ambientais em biomas em decorrência do fluxo de veículos em estrada, mencionado por diversos autores	38
Quadro 2	Legenda das unidades geológicas que afloram na região, com destaque para as localizadas na poligonal delimitadora da ZA do Parque Nacional do Catimbau. Fonte: S.N.E. (2002). Modificado pelo autor.	49
Quadro 3	<i>Checklist</i> de formas de impacto de estradas sobre o ambiente, segundo Formam (2003) e a ocorrência desses impactos sobre rodovias do Parque Nacional do Catimbau e Zona de Amortecimento.	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANTT – Agencia Nacional de Transporte Terrestre.
- ADEA - Associação de Defesa e Educação Ambiental
- CIA – Centro de Inteligência Americana
- COT - Comando de Operações Táticas
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- DER-Departamento de Estradas e Rodagens
- DETRAN – PE - Departamento Estadual de Trânsito de Pernambuco
- DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte
- EE – Efeito estrada
- EIA - Estudos de Impactos Ambientais
- EUA - Estados Unidos das Américas
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis
- IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
- NIR - Near infra-red
- NDVI - Normalized Difference Vegetation Index
- PN – Parque Nacional
- PNC – Parque Nacional do Catimbau
- PROBIO – Projeto de Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais
- RIMA - Relatório de Impactos Ambientais
- RGB – Red, Green, Blue
- SNE – Sociedade Nordestina de Ecologia
- TEBI – Teoria Biogeográfica de Ilhas
- UK – King United - Reino Unido
- UC – Unidade de Conservação
- UC's - Unidades de Conservação
- USA – United States of America - Estados Unidos das Américas
- VIS – Visible
- ZA – Zona de Amortecimento

RESUMO

Linha de pesquisa inovadora no âmbito da Ecologia da paisagem, sob ótica da Geografia. Expõe as contradições que giram em torno do conceito de *corredor* aplicado às redes, particularmente estradas. Perpassa pelos dispares vieses: *fragmentação*, *efeito de borda*, e *fluxo de veículos*. Com um discurso inovador elucidá-os como um fenômeno único e fragmentador de habitats, aqui denominado “*efeito estrada*”, preenchendo assim uma lacuna na literatura. Mensura e demonstra o *efeito estrada* tomando como base a legislação vigente, considera sua evolução com a duplicação, estima o seu consumo de solo, aponta seus níveis de impactos ambientais, sua contribuição ao surgimento de povoados, por fim sua expansão máxima com a cidade. O *efeito estrada* enquanto hipótese a ser testada em UC, elucidou um processo fragmentação que compromete a política de parques nacionais, particularmente na ZA do Parque Nacional do Catimbau, foco de estudo, que encontra-se circundada por estradas, como consequência sob impactos ambientais. O *efeito estrada* produziu modificação na matriz agropecuária, ampliou a fragmentação de seu habitat, condição que vem comprometer sua sustentabilidade. O uso do sensoriamento remoto aliado à técnica do NDVI estimou-se a perda da cobertura vegetal, verificando-se uma tendência no entorno dos eixos rodoviários que permeia sua ZA. Foi possível concluir que as estradas independentemente do seu porte são fragmentadoras de habitats. Assim, fica a advertência de que, as políticas públicas ambientais concebidas com o objetivo de apenas criar áreas protegidas nem sempre funcionam como deveria, sobretudo se a inserção de redes não for considerada.

Palavras chaves: efeito estrada, sensoriamento remoto, corredor.

ABSTRACT

Line of innovative research in the context of landscape ecology, in view of geography. Exposes the contradictions that revolve around the corridor concept applied to networks, particularly roads. It passes by disparate biases: fragmentation, edge effects, and traffic flow. With an innovative discourse elucidates them as a unique phenomenon and fragmenting habitat, herein referred to as an innovative way "road effect", thus filling gap in the literature. Measures and demonstrates the effect of road building on existing legislation, considers its evolution with duplication, it estimates its consumption of soil, indicates their level of environmental impact, its contribution to the rise of towns, and finally its maximum expansion to the city. The effect of road as a hypothesis to be tested at UC, elucidating a process that undermines the political fragmentation of national parks, particularly in ZA Catimbau National Park, the focus of study, where it is surrounded by roads, result in impacts environment. The effect produced road modification in agricultural matrix, increased fragmentation of their habitat, a condition which undermines their sustainability. The use of remote sensing technique combined with the NDVI estimated the loss of plant cover, and there is a tendency in the vicinity of roads that permeates your ZA. Is possible to conclude that the roads regardless of their size are fragmenting habitat. So, is warning that environmental public policies designed for the purpose of creating protected areas just do not always work as it should, especially if the inclusion of networks is not considered.

Keywords: road effect, remote sensing, corridor

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS E QUADROS	19
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1 INTRODUÇÃO	27
2 REVISÃO DA LITERATURA	29
2.1 A Escala na Ecologia da Paisagem e a questão dos corredores	29
2.2. Impactos de estradas sobre o habitat	34
2.3 Estrada como elemento de fragmentação de habitats e áreas protegidas	35
2.4 A rede rodoviária no Brasil e a fragmentação dos habitats	39
2.5 Estudos associados à inserção de estradas em habitats dos PN do Brasil com o uso do sensoriamento como ferramenta	45
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	46
3.1 Localização do Parque Nacional do Catimbau (PNC)	46
3.2 A Zona de Amortecimento (ZA)	47

3.3 Caracterização física da ZA	49
3.4 Aspectos geomorfológicos	52
4. MATERIAIS E METODOS	55
4.1 Imagens de Satélite e construção de mapas	56
4.1.1 Calibração radiométrica	57
4.2. Reflectância monocromática	57
4.2.1. Índices de vegetação (NDVI)	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1 A conceituação do efeito estrada e avaliação do sistema viário como elemento fragmentador de habitats em parques nacionais do Brasil	59
5.2 O efeito estrada nos Parques Nacionais (PN) e em suas zonas de amortecimento (ZA)	69
5.3 O Efeito estrada na rede rodoviária inserida na zona de amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau (PNC)	75
5.4 Descrição das mudanças no mosaico espacial com uso de imagens Landsat em composição R/G/B, da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau, em escala comparativa de 2001 e 2007	85
5.5 Descrição da assinatura espectral espacial de NDVI da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau do ano de 2001 e sua relação com o efeito estrada	87

5.6 Análise da assinatura espectral espacial na vegetação em NDVI da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau (PNC) em 2007 e sua relação com o efeito estrada	90
5.7 As diferenças das características geomorfológicas dos setores Norte e Sul da zona de amortecimento (ZA) e sua influência no NDVI	94
5.8 Análises comparativas do efeito estrada na assinatura espectral da cobertura vegetal em NDVI do eixo rodoviário norte	97
5.9 Análises sistematizadas do efeito estrada com uso do NDVI no eixo rodoviário norte da Zona de Amortecimento	101
5.10 Análises comparativas do efeito estrada na assinatura espectral da cobertura vegetal do eixo rodoviário do setor sul em 2001 e 2007	102
5.11 O efeito estrada nas rodovias vicinal do Catimbau e PE 2	106
5.12 Análises de dados quantitativos de vegetação com uso NDVI e sua relação com efeito estrada no eixo rodoviário Sul da Zona de Amortecimento	108
6. RECOMENDAÇÕES	113
7. CONCLUSÕES	114
REFERÊNCIAS	115
ANEXOS	122

1 INTRODUÇÃO

O Parque Nacional do Catimbau (PNC) criado através do Decreto Lei 4.340 de 22 de agosto de 2002 veio a somar a um mosaico de habitats diverso e disperso de 52 unidades distribuído pelo território brasileiro. Entretanto, sua inserção se deu em extensa matriz permeado por atividades agropecuária, agrícolas, comercial e manchas áreas urbanas, que se conectam por uma diversidade de redes de estradas, canais, linhas de força, linha férreas, dutos, que se inserem no habitats naturais, causando fragmentação, efeito de borda, e impactos ambientais.

Particularmente as estradas acrescentam fluxos de veículos e, conseqüentemente, conduzem à valorização do espaço (CASTRO *et al.*, 2002), trazendo consigo o aumento das emissões de ruídos, propagação de luzes, entre outras formas de impactos ambientais (FORMAN *et al.*, 2003).

Nas Unidades de Conservação (UCs), as de proteção integral as atividades econômicas realizadas dentro das Zonas de Amortecimento (ZA), ou *buffer zones*, não devem se confrontar com a possibilidade de conservação na unidade em si, enquanto zona de transição, mais extensa, deve-se procurar obter cooperação para práticas de manejo adequadas (MORSELLO, 2001).

O PNC é circundado por quatro estradas, fato único entre os PN brasileiros. Esta condição habilitou essa área para estudo, focando a inserção de uma malha viária em sua ZA e seus efeitos deletérios. Nesse contexto, percebeu-se a falta de um conceito abrangente que represente os danos causados por estradas. A construção do conceito “efeito estrada”, que aqui representa a ação conjunta dos impactos ambientais, efeito de borda e fragmentação da vegetação, veio a suprir uma lacuna conceitual no tema. Em seguida, este foi aplicado aos PN brasileiros, onde foram levantados os quantitativos de estradas e, as formas de acesso a esses parques. Com isso, construiu-se um panorama acerca das conseqüências da inserção de estradas nesses parques.

No entanto, a inserção das estradas na sua ZA resultou em impactos ambientais como conseqüência do *efeito estrada*, e vem comprometendo a conservação do PNC. No Brasil não há no âmbito jurídico uma legislação específica que regule a forma de inserção e uso de uma estrada em parques nacionais. No entanto, antecedendo a prática dos princípios da política ambiental, têm surgido manifestações contra inserção de estrada, um exemplo do fechamento

da estrada Colono no PN do Iguaçu (PR), que se deu mais em decorrência de manifestação social do que pelo funcionamento das leis.

Por conta das dimensões espaciais da ZA do PNC, o sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta útil para observação dos extensos eixos rodoviários, especialmente as estradas estaduais, federais e as vicinais. Os focos críticos foram às áreas urbanas, os campos de agricultura, entre outras atividades que se nutrem das estradas. Indicativos importantes dessa ameaça do *efeito estrada* podem ser vistos quando se considerou o NDVI em escala temporal 2001-2007.

Por isso, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência das estradas nas ZA do PNC na redução da cobertura vegetal da Caatinga e, correlacionar os resultados aos conceitos de fragmentação florestal, efeito de borda e perda da biodiversidade, aqui denominados de forma abrangente o conceito *efeito estrada*, um estudo de caso auxiliará no diagnóstico de áreas degradadas por inserção de estradas, sobretudo em ambiente semiárido.

2. REVISÃO LITERATURA

2.1 A Escala na Ecologia da Paisagem e a questão dos corredores

No âmbito científico, o primeiro a introduzir o termo “paisagem” foi Alexander von Humboldt, no início do século XIX, referindo-a como “característica total de uma região terrestre”. Em 1939, o termo “ecologia de paisagens” foi pela primeira vez empregado por Carl Troll, que referia como noção básica de paisagem a espacialidade, ou seja, a heterogeneidade do espaço que o Homem habita (TURNER, 1989). Portanto, o ponto de partida da ecologia de paisagens é observar as interrelações da biota (incluindo o ser humano) com o seu ambiente, formando um todo.

Ecologia da Paisagem é o campo da ecologia que enfatiza a interação entre padrões espaciais e processos ecológicos, isto é, as causas e consequências da heterogeneidade espacial ao longo de uma faixa de escalas espaciais e temporais. A Ecologia da Paisagem combina a abordagem espacial da Geografia com a abordagem funcional da Ecologia. Forman e Godron (1983) considera as relações espaciais entre os elementos da paisagem, os ecossistemas, os fluxos de energia, nutrientes minerais e espécies nos elementos de paisagem, e a dinâmica ecológica dos mosaicos de paisagem ao longo do tempo.

A interpretação da paisagem feita por observação tem como base elementos conceituais que permitem a interpretação dos objetos em padrões de escala temporal e espacial (TURNER, 1989). Os conceitos são assim definidos: a) paisagem área que é espacialmente analisada; b) heterogeneidade os elementos dissimilares em qualidade ou estado, e seus diferentes tipos de habitats ou cobertura da paisagem; c) a mancha que é área da paisagem que difere dos arredores; d) os corredores, que podem ser faixa relativamente estreita e de aspecto linear de um tipo particular, que diferem das áreas adjacentes em ambos os lados; e) a matriz, que é o tipo de cobertura de fundo numa paisagem, caracterizada pela cobertura e pela conectividade; f) a borda, área de transição entre duas unidades de paisagem (METZGER, 2001).

Quanto à escala, a ecologia da paisagem faz uso da temporal e espacial (TURNER, 1989). A compreensão da dinâmica no nível de paisagem deveria ser obtida diretamente dos estudos na paisagem. Assim, os processos em escala fina (respostas fisiológicas, demográficos, genéticos, movimentos de energia e matéria, etc.) poderiam ser considerados como os mecanismos que explicam a dinâmica na paisagem, enquanto os padrões de escala ampla (disposição dos solos, relevo, topologia do terreno, proximidade de rios etc.) podem ser considerados como limitadores dos processos finos. A escala é caracterizada por grão e

extensão. Ao se fazer uma analogia com uma fotografia, o grão representa a resolução da foto; quanto menor o grão, maior é a resolução. A extensão representa o quanto da paisagem a foto é capaz de capturar. Uma regra geral é quando se ganha em extensão, perde-se em resolução (TURNER, 1989).

No caso particular dessa pesquisa, a matriz tem como características dominantes as atividades agropecuárias; o Parque Nacional do Catimbau a mancha; a rede rodoviária em estudo seria amostra de corredores. A escala de análise espacial variou de ampla, com uso de imagens de satélite, denominado na geomorfologia de 1º táxon, onde os corredores são vistos como linhas, de características ora linear ora sinuosa, e a escala fina ou de 6º taxon, onde se observou o efeito estrada. Quanto à temporalidade foi considerado um período que vai de 2001, ponto em que a mancha veio se tornar um parque nacional, até 2007, ano de início da pesquisa.

Entre os temas também presentes nessa revisão se discute em que escala a estrada deva ser considerada como corredor. Fazem-se ainda considerações sobre os impactos de estradas sobre a biodiversidade, estradas como elemento de fragmentação de habitats em ZA do PNC, a rede rodoviária no Brasil e, por fim, os estudos associados à inserção de estradas em parques do Brasil.

A discussão do uso e interpretação do conceito corredor presente na Ecologia da Paisagem advém da forma de como se utiliza a escala para enfatizar corredores. Os estudos encontrados nesse viés apenas variam de escala de discussão. Quando analisada na escala ampla, a estrada aparece como um corredor. Isso ocorre devido ao seu aspecto linear, visto por cima, mas quando sob o foco da escala mais aproximada, não se discutem os impactos ambientais por ela gerados. Assim, a discussão se restringe no âmbito da fragmentação, dos efeitos de borda, ou dos fluxos de veículos.

Entretanto, essa pesquisa mostrou que o uso sem critério do termo corredor pode ocultar o papel impactante sempre presente no contato entre biomas e estrada. O que se percebe inicialmente é que o conceito de corredor é, entre os termos conceituais aplicados pela Ecologia da Paisagem, o único de significados diversificados. Entre algumas citações predominantes na literatura, os que consideram a estrada como um tipo de corredor vêm de Soulé (1986); Spellerberg (1998); Matteucci (1998); Burel e Baudry (2002), entre outros.

Uma segunda forma de interpretação, que define estrada como barreira e elemento fragmentador, é a de Noss (2007), que considera corredores como elementos que amenizam os impactos provocados pela estrada, como os túneis e passagens subterrâneas.

As noções do termo corredor, aparentemente ecológico, como elemento diferenciador das condições da matriz, podem ser vistas em Spellerberg (1998), quando denominam corredor todas as “*estruturas lineares da paisagem que diferem das unidades vizinhas e que ligam, pelo menos dois fragmentos de habitat anteriormente unido*”. Odum e Barrett (2007), também definem de forma muito próxima essa idéia, considerando corredor como uma faixa do ambiente que difere da matriz em ambos os lados e, com frequência conecta - tanto de forma natural como por planejamento – duas ou mais manchas de paisagem de habitat similar.

A idéia que coloca as estradas como corredores afirma que essas consistem em uma rede de ligação através do sistema viário (estradas e trilhas) e de drenagem (córregos e canais), dispostos espacialmente no mosaico de manchas, onde as redes constituem o padrão paisagístico que possibilitam a conectividade entre os organismos existentes (MATTEUCCI, 1998; BUREL e BAUDY, 2002).

Entre as concepções que transmitem a idéia de corredor na condição de manejo, destacam-se as conceituações desenvolvidas por Schonewald-Cox e Buecher (1992, p.131) que afirmam serem “*faixas de terras protegida entre as reservas*”. Noss (2007, p 3), também tem uma definição muito próxima: “*faixa de terra selvagem que permita aos organismos se mover entre as manchas*”. O que se percebe é que há uma diversidade de concepções do termo aplicado a corredor com tendência a acentuar equívocos.

Noss (2007, p 16) por sua vez, definiu corredor contradizendo todas as conceituações citadas ao afirmar: “*Alguns corredores podem ser tão simples quanto tubulações ou passagens sob estradas que permitem os anfíbios cruzá-las sem arriscar suas vidas*”. Essa afirmação foi baseada em estudo de campo mostrando como túneis vêm sendo usados por grandes variedades de répteis e anfíbios para atravessar uma rodovia. É uma definição conceitual importante porque expõe claramente a separação entre a idéia que se quer dar ao termo corredor, e a noção de uma estrada na condição de barreira. Corredor define o autor, como um elemento mitigador de impactos provocados pela inserção de uma estrada em uma matriz de um bioma qualquer.

Quando se verificam as classificações de corredores, o problema permanece. Forman e Godron (2000), e Odum e Barrett (2007) citam diretamente a estrada como um corredor. Forman e Deblinger (1998), afirmam que os corredores podem ser naturais, como, as matas de galerias, ou artificiais como cercas vivas. Em outra circunstância classifica-os levando em consideração a largura, permitindo chegar a três tipos: Linhas-Corredores, de forma linear (estradas, trilhas, cercas, diques, canais e outros); Faixas-Corredores, mais largas que as linhas e, usualmente, com presença de vegetação (auto-estradas, sistemas de torres de energia); e

Cursos d'água, principalmente considerando a vegetação ao longo deles (FORMAN e GODRON, 2000). Observa-se nessa classificação que estrada é mantida como corredor.

Por seu turno, Odum e Barrett (2007) classificam os corredores considerando ações de intervenção classificada segundo seu ponto de vista como: de perturbação; plantados; regenerados; de recurso (natural); remanescentes. Essa forma de classificação, por sua vez, considera como corredor as clareiras abertas na vegetação, restos de vegetação circundada por barreiras inseridas na matriz, cercas vivas, e matas de galerias.

O corredor de perturbação (Figura 1) ocorre quando linhas de transmissão atravessam um habitat florestal (ODUM e BARRET, 2007). Essa é uma conceituação confusa, uma vez que considera como corredor uma faixa desmatada, onde transitam veículos, que dá suporte a linhas de transmissão de energia elétrica. Dessa forma, não caberia aqui a conceituação de corredor, uma vez que contradiz seu princípio, que é o de estabelecer ligações entre as manchas de uma matriz qualquer. O que se vê, na verdade, é uma barreira, oriunda de uma clareira aberta na matriz rompendo a ligação entre as manchas. Nessa condição, há a manutenção da área desmatada, uma vez que a recuperação da vegetação impede a manutenção da técnica, e o crescimento da vegetação provocaria agravos na estrutura de linhas de transmissão, e favoreceria ainda possíveis danos causados por incêndios florestais.



Figura 1: Estruturas de rede elétrica inseridas em uma faixa de domínio da BR 232, proximidades do município de Tacaimbó-Pe. A vegetação em regeneração em primeiro plano foi retirada para evitar que o seu crescimento e posteriores incêndios provoquem circuitos e interfiram na distribuição de energia. (Foto: Natalício Rodrigues, 2008).

Tem sido encontrado em artigos relacionados à Ecologia da Paisagem, o uso do conceito corredor e estrada, como se ambos exercessem o mesmo papel na matriz, o que pode gerar ainda mais equívocos de interpretação. O problema se torna mais grave quando se classifica estrada na condição de corredor. Nesses casos, acredita-se ser mais coerente usar o termo barreira para designar estradas, linhas elétricas, cercas ou aceiros inseridos na matriz, como se referem Schonewald-Cox e Buecher (1992), quando afirmam que a fragmentação ocorre quando uma área do habitat original vem a ser dividida por estradas, ferrovias, canais, linhas de energia, cercas, oleodutos, aceiros ou outros equipamentos de infraestrutura.

Por outro lado, o uso do termo “*corredor*” não vem invalidar os textos já escritos, embora conte sempre com a possibilidade de equívocos na interpretação, uma vez que pode conduzir à idéia de que as estradas não causam efeito de borda e a conseqüente fragmentação. Em Pernambuco, na rodovia Luiz Gonzaga (nas proximidades da cidade de Gravatá), foi escavado um túnel que pode ser classificado como fator de minimização que a inserção da estrada causa ao ambiente. A sua construção evitou os excessivos recortes na vegetação, permitindo manter a conexão entre as manchas de uma matriz, através de faixas de vegetação, amortizando os impactos na área (Figura 2). Observa-se que a parte superior do túnel funciona de fato como um corredor que permite continuidade à paisagem, enquanto que a estrada por onde ocorre o fluxo de veículos gera uma ruptura na matriz.

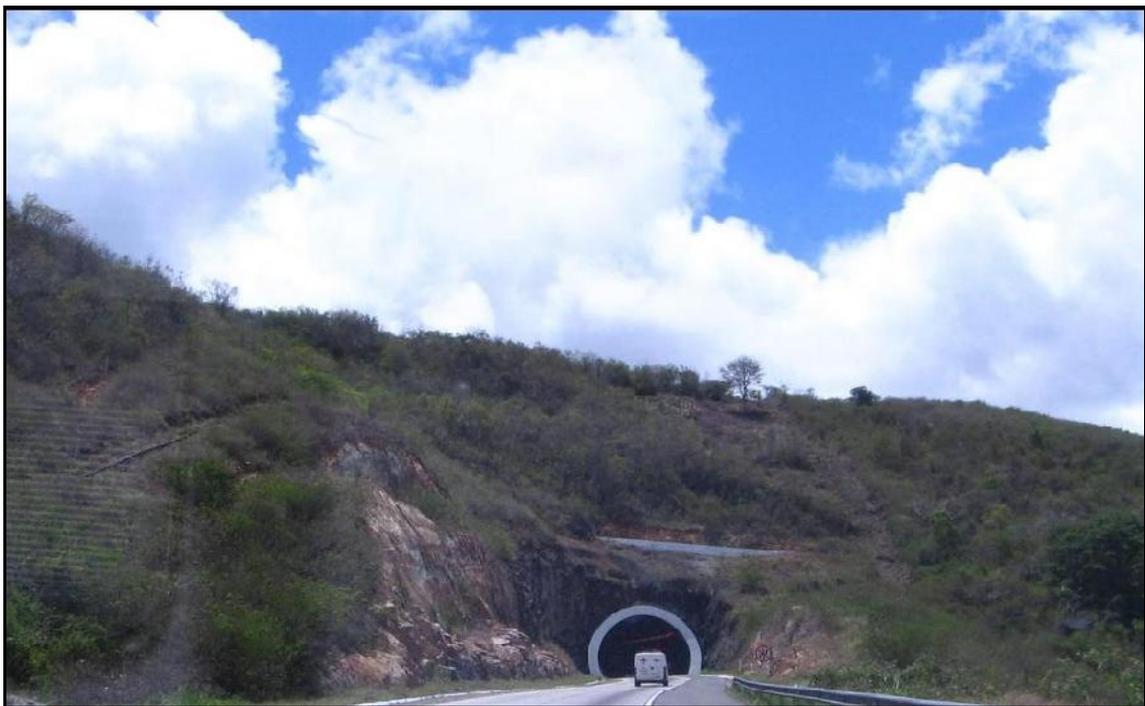


Figura 2. No plano superior observa-se a vegetação contínua exercendo a função de corredor. No plano inferior a rodovia BR – 232 (Luiz Gonzaga) passa sob o túnel Cascavel e fragmenta uma matriz, gerando impactos ambientais pelo contínuo fluxo de veículos. (Foto: Natalício Rodrigues, 2008).

Por outro lado, em uma área contígua ao túnel com função preservadora, observa-se a mesma estrada fragmentando a vegetação (Figura 3), questionando-se a real funcionalidade do túnel, na estrada como um todo.

Portanto, nessa pesquisa considera-se estrada como barreira em referência ao processo de fragmentação por ela gerado, tendo como consequência o *efeito de borda* (Figura 3), e o termo “*corredor*” para designar as faixas de terra selvagem que permitem aos organismos uma melhor locomoção (Figura 2.), conforme Noss (2007).

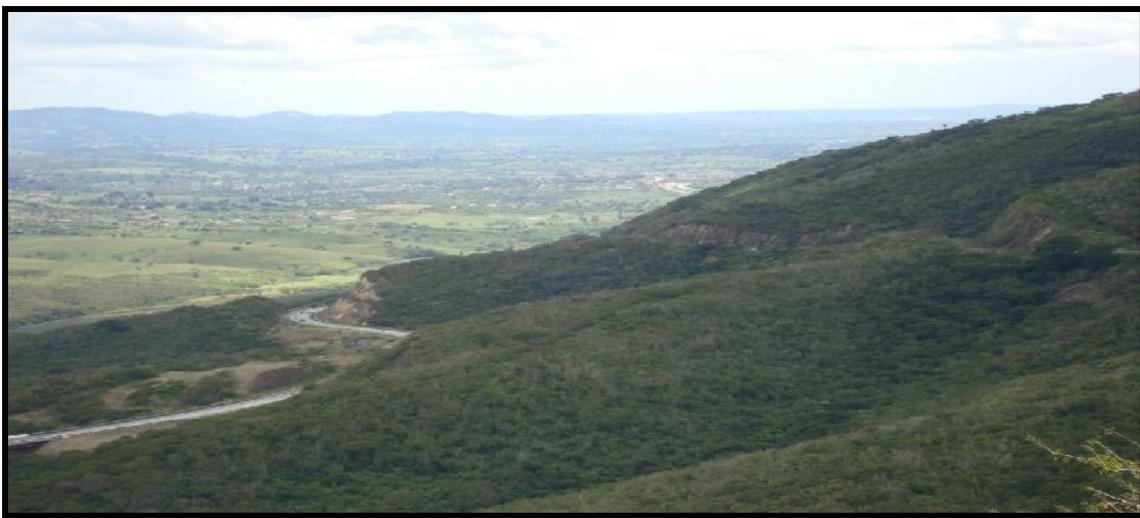


Figura 3: À esquerda observam-se a rodovia BR – 232 (Rodovia Luiz Gonzaga), fragmentando um recorte de uma matriz e criando uma barreira, e o consequente efeito borda nas proximidades do município de Pombos – PE, um exemplo típico do denominado-se na pesquisa de efeito estrada. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2008).

2.2. Impactos de estradas sobre o habitat

Em relação à Caatinga, a estrada já é considerada como elemento redutor de sua biodiversidade há várias décadas. Vasconcelos Sobrinho (1970) concluiu que quase não era mais possível encontrar em toda área do Nordeste formações vegetais que ainda possuíssem características primitivas, atribuindo parte dessa devastação à inserção de estradas. Em dado momento chega a afirmar que a estrada era o grande inimigo dos recursos naturais renováveis, e que a civilização somente podia tomar posse de uma área à custa do seu sacrifício. Entretanto, esta obra não se tratava um estudo com mensuração de danos.

Hoje a inserção de estradas em habitats é considerada como um impacto ambiental e, medidas mitigadoras devem ser implementadas. A resolução 001/86, Art.2º, exige Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para as atividades modificadoras de meio ambiente, tais como: estradas de; ferrovias; linhas de transmissão de

energia elétrica; oleodutos e gasodutos, que alguns artigos vêm considerando como “corredores”. Na ecologia da paisagem essa situação se daria na escala de observação detalhada.

O processo de fragmentação e sua relação com estradas é um dos temas presentes na literatura. No entanto, existe uma dicotomia de conceitos, quando se remete aos fatores que causam a fragmentação. Uma das correntes conceituais, com forte identidade com a *ecologia da paisagem*, considera a fragmentação como uma condição natural resultando em uma paisagem de mosaicos. Nesta, as justificativas são que esses processos estariam relacionados às flutuações climáticas; heterogeneidade de solos; topografia; processos de sedimentação e hidrodinâmica em rios e no mar; e processos hidrogeológicos que produzem áreas temporariamente ou permanentemente alagadas, fatores que podem agir isoladamente ou combinados (RAMBALDI e OLIVEIRA, 2003). Um exemplo significativo deste modelo de sistema ambiental é a teoria dos refúgios e redutos (AB’SABER, 2007, p.69). Segundo esse modelo os biomas oscilam por expansão e contração sob respostas de oscilações climáticas regulamentadas por ciclos glaciais em escala de tempo em nível de milhões de anos segundo padrão estabelecido na geologia. Como consequência dessa dinâmica os biomas ora se homogeneizam ora se fragmentam. A segunda corrente vê a fragmentação sob condição natural, que em um segundo momento, é intensificado pela ação humana ao longo do processo da construção do espaço geográfico (SANTOS e TABARELLI, 2001; VASCONCELOS-SOBRINHO, 1970; TABANEZ; *et al.*, 1997; COX e BUECHNER, 1992).

Quanto ao efeito de borda e estradas, há duas condições em que este efeito tem sido estudado: uma primeira na perspectiva da ecologia da paisagem, em que o foco se direciona a influência das bordas nas áreas fragmentadas; outra se relaciona às bordas causadas pela inserção de estradas, principalmente o tráfego de veículos, (FORMAN e DEBLINGER, 2003). Há também diversos autores que citam diretamente o efeito de borda causado por estrada em biomas nacionais (FORMAN e DEBLINGER, 1998; PRADO e PACIÊNCIA, 2004; DENES, 2006; QUEIROGA e RODRIGUES, 2000).

2.3 Estradas como elemento de fragmentação de habitats e áreas protegidas

Essa posição que coloca as estradas como barreira e redutor de vegetação tem sido ratificada por alguns autores. Mader (1981) mostrou a inserção de estradas, linhas de força, ferrovias e, uso do solo para atividades agrícolas e urbanização, como causadores de isolamento de habitats naturais. Flogiatti *et al.* (2004) afirmam que a construção de estrada requer o consumo e uso contínuo de espaço físico, condição que se dá com o recuo de

cobertura vegetal e, conseqüente interferência sob o habitat, ou mesmo sua perda. Assim, a construção de estradas inclui três etapas impactantes: o planejamento, a implantação, e a operação, ou seja, a elaboração do traçado; a execução das obras de construção; e as condições de operação de fluxo. Em todas as fases ocorre algum tipo de impacto ambiental.

No Brasil o Programa de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO ao apontar, entre as diversas ações humanas que desencadearam a devastação das florestas nativas, destacam a urbanização, redes de energia, saneamento e a implantação de estradas (RAMBALDI e OLIVEIRA, 2003).

Castro e Correia (2000) diz no processo de organização do espaço, que o ser humano age seletivamente. Decide sobre determinado lugar, conforme seus atributos e interesses, e de acordo com os diversos projetos estabelecidos, a fertilidade do solo, um sítio defensivo, a proximidade de matéria prima, o acesso ao mercado consumidor, a presença de um porto, de uma estrada, são atributos que podem levar a localizações seletivas.

Forman (1998) é rígido em sua posição, e aponta como saída ações por ordem de importância: 1) não construir a estrada; 2) modificar a rota; 3) construir estrada subterrânea; 4) fechar a estrada para veículos; 5) fechar a estrada, sendo esta última de difícil aplicação.

Quanto à escala da ação, os impactos ambientais de uma estrada qualquer podem atingir várias delas: local, regional e global (FORMAN *et al.*, 2003). Na escala local e regional o problema se estabelece nas áreas próximas ou adjacentes à estrada, e caracteriza-se pelo lançamento de particulados automotivos: pneus, calotas, matérias metálicas, partículas de asbesto dos freios, de borrachas dos pneus, derrame de óleo do cárter, e até mesmo lixo descartado pelos condutores e passageiros, que atingem a biota. A espacialização dessa forma de impacto vai teoricamente variar em função do fluxo e dimensão da estrada.

Outra forma impactante que abrange em escala local, regional e global é atribuída às emissões dos gases: monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos nitrogênio e de enxofre, que poluem o ar, afetando diretamente seres humanos, fauna e flora. Na escala local sua ação se reduz ao momento de lançamento, devido à dispersão pelo vento para atmosfera, na regional, e global a mistura dos gases nitratos e sulfetos presentes na atmosfera podem gerar ácido nítrico e sulfúrico, que podem precipitar-se através de chuvas ácidas, sendo mais eficiente em áreas de grande concentração industrial, onde os componentes gasosos emitidos por automóveis podem agregar maior quantidade de partículas no ar.

Quanto à escala global trata-se do centro de acumulação geral dos gases emitidos. Dados de pesquisa apontam que a atmosfera já recebeu, depois da Revolução Industrial, cerca de 750 bilhões de toneladas de CO₂, números que são acrescidos de 27 bilhões ao ano

(FRANCO, 2006). As pesquisas apontam que o efeito estrada, nas suas mais variadas formas e conseqüências, atua em escala de distância, em relação à estrada mais próxima, em valores que variam de um metro para a distância mínima, até mil metros para o alcance máximo.

Os impactos relacionados à inserção de estradas em habitats é linha de pesquisa bastante difundida principalmente entre as décadas de 70 e 90, e tem sua maior tradição nos EUA, centro mais significativo de referência desses estudos. Esses estudos vêm crescendo em todo mundo e, ultimamente no Brasil vem se desenvolvendo em função do crescimento da rede viária. Mesmo assim, a maior parte dos autores elucida que os danos da inserção de estradas em ambientes naturais são de origem estrangeira. Entre eles, nos EUA é onde existe a maior diversificação temática, e também maior número “*per capita*” de automóveis e rede de rodovias do mundo (Tabela 1). Mas nem sempre o fato de possuir uma extensa rede de estradas, indica necessariamente tradição na pesquisa, uma vez que o estudo também depende de uma política voltada à preservação ambiental. Entretanto, é inegável uma tendência nesse sentido.

No Brasil, os estudos ainda são pouco significativos e, em geral, tomam como referência a literatura norte-americana e inglesa. No entanto, a crescente pressão humana tem elevado os conflitos entre as áreas protegidas e o seu entorno, o que pode vir a favorecer o crescimento desse tipo de pesquisa. Embora o país possua uma malha rodoviária apenas inferior aos EUA, nem por isso detém a mesma tradição em estudos. O mesmo não se pode dizer do número de veículos “*per capita*”, que se distancia consideravelmente dos países desenvolvidos. Nestes, quando considerados apenas estudos relacionados a estradas e habitats observou-se uma divisão em duas correntes distintas: uma primeira que explica os impactos que uma estrada causa a um bioma, linha comum nos Estados Unidos, Nova Zelândia e no Reino Unido; uma segunda e não menos importante, é o estudo do *efeito estrada* em parques ou áreas protegidas (FORMAN *et al*, 2003).

Outras linhas de pesquisa relacionadas aos tipos de conseqüências do fluxo de veículos em estrada para fauna e flora vêm da década de 70 a 90, e tem sua maior tradição nos EUA, Reino Unido e Nova Zelândia. Foi possível observar uma significativa diversidade de estudos, que no geral apontam para uma tendência em torno de uma idéia: de que a inserção de uma estrada tem relação direta negativa com o meio ambiente e, principalmente, com fauna. Há uma vasta literatura elucidando os principais tipos de problemas em relação ao fluxo de veículos em estradas sobre os organismos componentes dos ecossistemas (Tabela 1).

Tabela 1: Distribuição de rodovias, suas condições e números de automóveis “*per capita*” em diferentes países. Fonte: CIA World Factbook (2009).

Países	Rodovias Milhões (km)	Automóveis (por mil habitantes)	Pavimentada (km)	Não Pavimentado (km)
E.U. A	6.393,603	765	4.180,053	2.213,550
Canadá	1.408,800	563	497,306	911,494
Austrália	913,000	619	314,090	497,513
Reino Unido	392,931	426	392,931	-----
Nova Zelândia	92,382	560	59,124	33,258
Brasil	1.724,290	133	98,871	1.630,058

Quadro1: Principais tipos impactos ambientais em biomas em decorrência do fluxo de veículos em estrada, mencionado por diversos autores.

Tipo de problemas	Autores*
Impactos na Biosfera	
Acúmulo de metais na biota	Motto; Daines (1970);
Efeitos do Pb, Ni, Cd e Zn oriundos da queima de petróleo acumulados em plantas, animais e outros organismos	Lötscher ; Koh (1978);
Emissões de chumbo afetando árvores, solo e o homem	Ward <i>et al.</i> (1974; 1975; 1979);
Afetando vida aquática próxima à estrada e rodovias por escoamento superficial:	Youself <i>et al.</i> (1983; 1986);
Gases poluentes SO ₂ , CO ₂ , NO e hidrocarbonetos na biota próxima às rodovias:	Sarker <i>et al.</i> (1986);
Efeitos químicos do Al, Cr, Fe e Ni lançados no ar afetando a biota	Santelman ; Gorham (1988);
Mortalidade nas estradas	Carmody (1996), Moris ; Mons (1988);
Particulados afetando a respiração, transpiração e fotossíntese da flora	Farmer (1993);
Mudanças no microclima por fragmentação	Young ; Mittchel (1994);
Deterioração e perda de habitat	Sherbourne (1985); Reijnen ; Foppen (1994);
Invasão de espécies	Timmins ; Williams (1990; 1991), Buxton (1995);
Perturbação por ruídos e luzes artificiais	Reijen <i>et al.</i> (1995);
Disseminação de herbáceas (invasoras) em bordas de estradas e rodovias	Wilson <i>et al.</i> (1992), Ullman <i>et al.</i> (1995);
Lançamento de poeira e areia afetando a flora	Walker e Everett (1987), Farmer (1993); Forbes (1995);

Afetando pássaros	Ferris (1979), Zande (1980), Canady (1996);
Causando erosões	Mosley (1980), Fahey ; Coker (1989), Peterson, (1996);
Afetando a fauna	Murphy ; Dowdins (1994), King <i>et al.</i> (1996);
Atropelamento de animais: pequenos mamíferos:	Adams ; Darlymple (1992);
Cobras:	Bernardino ; Darlymple (1992);
Corujas	Ilner (1992),
Anfíbios	Fahring <i>et al.</i> (1995);
Veados	Ramin ; Bissonette (1996);
Contaminação com metais pesados: Pb, Ni, Cd, e Zn	Motto ; Daines (1970), Lötschert ; Köhm (1978), Przybyiski (1979), Musket ; Jones (1990) <i>apud</i> Spellerberg ; Toni Morrison (1998);
Efeitos das emissões de gases SO ₂ , CO ₂ , CO NO, e hidrocarbonetos na biota e nos seres humanos.	Sarker <i>et al.</i> ,(1986), Kammerrbauer <i>et al.</i> (1986) <i>apud</i> Spellerberg; Toni Morrison (1998).

Fonte: Forman *et al.*(2003).

Esse tipo de estudo possui campo fértil para pesquisa, uma vez que os itens citados podem ainda variar em função da matriz econômica, além de outras de menor importância, como: circulação de veículos, aspectos técnicos das estradas ou rodovias, aspectos geológico-geomorfológicos, condições de solo, local, riqueza e tipo do habitat, ventos, climas da região, entre outros elementos. Estes, por sua vez, podem estar sujeitos a outras variáveis que nem sempre têm sido levadas em consideração nos estudos, o que abre perspectiva à realização de novas pesquisas. A importância da estrada se dá em função do dinamismo econômico que liga as cidades; fluxo de veículos que circulam; seu comprimento e largura (CARMODY, 1996); tipos e velocidade dos veículos; combustíveis usados no automóvel; mercadorias transportadas; declividade; tipo de fauna e flora local; direção dos ventos; relevo; clima; chuvas e solo.

2.4 A rede rodoviária no Brasil e a fragmentação dos habitats

No Brasil as primeiras estradas, surgiram no século XIX, pois o litoral e as grandes bacias fluviais respondiam pelos fluxos. Eram vias fracas, pontuais e limitadas tecnicamente. Articulavam os nódulos econômicos e dependiam de ordens e comércio longínquo. Foi um período em que a fragmentação por estradas atingiu os domínios morfoclimáticos, inicialmente sobre os mares de morros, áreas mamelonares tropical-atlânticas florestadas do

nordeste brasileiro. No Sudeste, as estradas ocupam as faixas de transição, e os Cerrados (Figura 4A).

Mais tarde, a necessidade de escoamento dos produtos e o crescimento do intercâmbio entre localidades e regiões acabaram por exigir a abertura de outras rotas. Em 1928, no governo de Washington Luís, surgiu a primeira rodovia pavimentada em área de mata Atlântica, que ligava o Rio de Janeiro a Petrópolis (SANTOS, 2005). Ampliam-se as rodovias no Sul, e assim, o Brasil entrava na década de 50 com uma rede rodoviária de 302.147 km concentrados no Sudeste do país. As poucas estradas estavam distribuídas de forma dispersa, uma leve concentração já podia ser percebida nos estados do Sul e Sudeste. O Norte do país isolado, e no Nordeste as rodovias apenas conectavam os grandes centros regionais (Figura 4A).

Na segunda metade do século XX a construção de diversas infraestruturas de circulação cresce, conectando outras regiões ao região Sudeste do país. O maior crescimento das rodovias nacionais veio ocorrer nas décadas de 60 e 70 (SANTOS, 2005). O Nordeste e o Sul são conectados ao sudeste pela BR-116; essa inserção amplia o processo de fragmentação da Caatinga, iniciada no século XVI.

Outras conexões se dão pela BR 101 e BR 104, que cruzando latitudinalmente o país, amplia a fragmentação da mata Atlântica. Mais tarde, as capitais do Centro-Oeste, Brasília e Cuiabá, passam a ser conectadas com a região da Amazônia (Figura 4B). Os eixos principais da conquista e fragmentação da Amazônia e do Cerrado, foram completados através da BR 010 (Belém – Brasília) e BR 364, que parte do Mato Grosso e rumo a Rondônia e Acre (Figura 4B). No Nordeste a fragmentação da Caatinga foi acelerada pela inserção da BR 232 em Pernambuco, e BR 230 na Paraíba.

O ritmo de construção de rodovias pela União foi acompanhada e ultrapassada, nas décadas de 60 e 70 pelas políticas públicas do Estado de São Paulo. Vários governos de outras Unidades Federativas também deram uma contribuição para difusão de rodovias. Em 1995 os conjuntos das rodovias nacionais atingiram 1.657.769 km; alcançando em 1995, sendo seu maior crescimento desde a década de 1970 (SANTOS, 2005).

Todavia, somente 8,94% das rodovias são pavimentadas, correspondendo, sobretudo às regiões Sudeste, Nordeste e Sul (Tabela 2). Por outro lado, as vicinais foram as que exerceram importante papel no desenvolvimento das regiões do Brasil e, conseqüentemente, ampliação do processo de fragmentação das matas nativas nacionais. A inserção de estradas permitiu articular locais antes isolados para os mercados agrícolas, oportunizando o acesso à educação, saúde e maior variedade de bens de consumo (FLOGIATTI, 2004). Segundo o

Anuário Estatístico dos Transportes (2002), a Distribuição das rodovias no Brasil mostra uma concentração da ordem de 80,9% dessas redes nos estados do Sul e Sudeste. A região Norte é onde há uma menor concentração, o que representa apenas 5,9%, elucidando uma maior concentração de hidrovias.

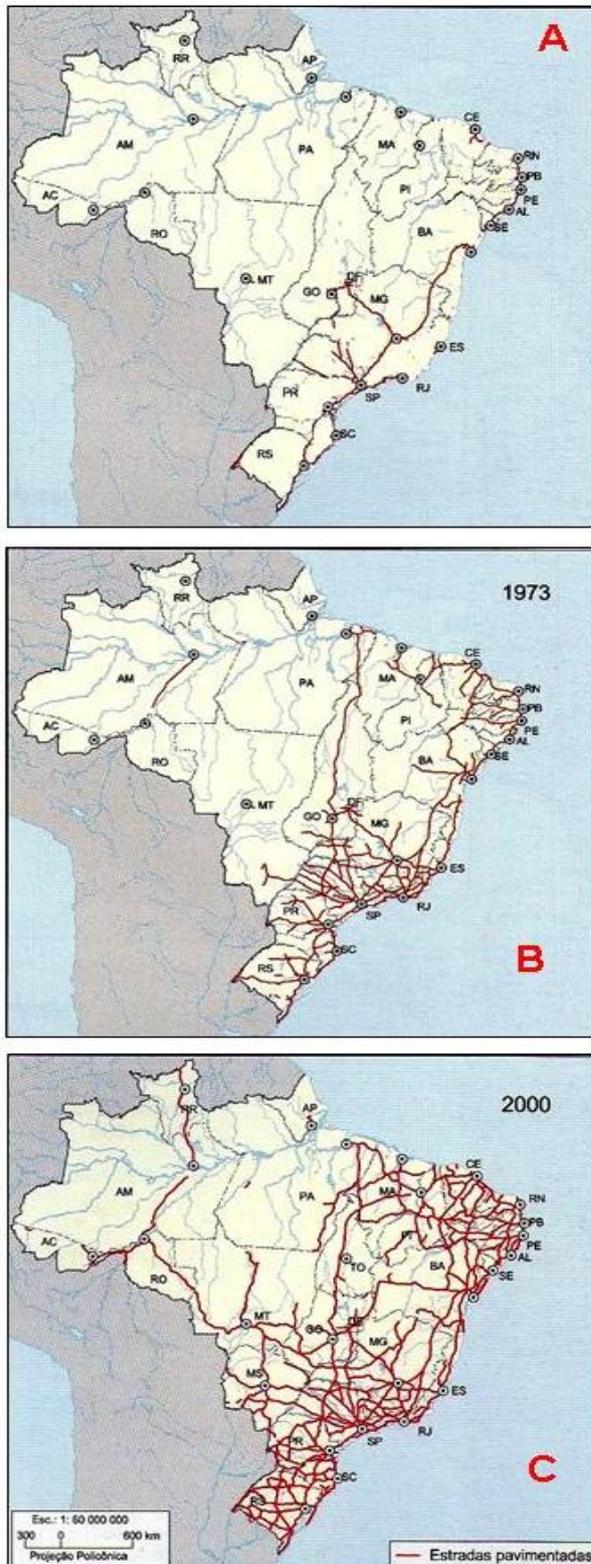


Figura 4: Distribuição da malha rodoviária no Brasil no século XIX (A); na década de 70 (B) e no ano 2000 (C).

Fonte: Atlas Geográfico Escolar do IBGE (2006), modificado pelo autor com base em: Flogliatti e Goudar (2004).

Tabela 2: Distribuição categorizada (extensão, percentual e pavimentação) das rodovias no Brasil, segundo suas regiões naturais.

REGIÃO	TOTAL (km)	%	NÃO			
			PAVIMENTADA		PAVIMENTADA	
			(km)	(%)	(km)	(%)
Norte	103, 096	5,9	12.394	12,02	90, 702	87,98
Centro – Oeste	227, 825	13,2	20, 814	9,14	207, 011	90,86
Nordeste	405, 390	23,5	45, 232	11,16	360, 158	88,84
Sul	476, 122	27,6	32, 364	6,80	443, 758	93,20
Sudeste	512, 496	53,3	54, 184	10,57	458, 312	89,43
Total	1.724,929	100	164, 988	9,57	1 559, 941	90,43

Fonte: DNIT – Anuário Estatístico dos Transportes (2002).

Essas diferenças de pavimentação são fundamentais, uma vez que interferem na forma de forma dos impactos e de sua manifestação. Essa condição decorre das características diferenciais entre uma estrada de terra e uma pavimentada. Nesta observa-se o efeito da absorção de partículas de poeira pela vegetação na borda da estrada e, a conseqüente interferência na fotossíntese, entre outras formas de impactos como elemento de indicação do efeito estrada (Quadro 2).

Estradas vicinais, geralmente de solo compactado ou não, possuem uma gama de impactos ambientais negativos, mas em menor grau quando comparados a uma estrada principal, principalmente em relação ao fluxo de veículos. Porém, no período de chuvas podem sofrer acentuada erosão, principalmente nas áreas desmatadas ou inclinadas, onde esses sedimentos podem ser carreados para córregos próximos, causando assoreamento.

Os estudos sobre o efeito estrada no Brasil podem ser classificados em adequando ao estudos em dois grupos: um primeiro com pesquisas relacionadas aos danos causados no meio ambiente. Estes casos, em geral, estão relacionados a atropelamentos de animais ou de redução e impactos causados por estradas. Outra categoria está relacionada diretamente aos Parques. No primeiro viés citam-se estudos relacionados à Amazônia, como os de Pereira *et al.* (2006) na PA- 458; Freire e Ballester (2007) na BR -163; Maciel Santos (2007) nas estradas vicinais. No Nordeste, no bioma Caatinga, registra-se a pesquisa de Santos e Tabarelli (2002) que elucidaram a relação da distância entre rodovias e cidades como modelos preditivos de perda e fragmentação de habitats na Caatinga.

Quadro 2: Principais tipos de impactos ambientais provocados por inserção de estradas pavimentadas (P) ou não pavimentadas (NP).

Formas de Impacto	Pavimentada	Impacto	NP	Impacto
Impermeabilização do solo	Sim	Sim	Não	Não
Absorção de água	Não	Sim	Sim	Não
Lançamento de poeira	Não	Não	Sim	Sim
Atropelamento de fauna	Sim	Sim	Sim	Sim
Interferência na flora	Sim	Sim	Sim	Sim
Modificação na rede hidrográfica	Sim	Sim	Sim	Sim
Erosão superficial	Não	Sim	Sim	Não
Efeito de borda	Sim	Sim	Sim	Sim
Fragmentação	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Forman *et al.* (2003)

Esse tipo de estudo é inovador e se iniciou na década atual. Por isso, o número de pesquisas ainda é pequeno, principalmente quando o tema encontra-se relacionado a Parques. Entretanto, estudos significativos ocorreram no Paraná e no Rio de Janeiro. No Paraná Lima e Obara (2007) enfatizaram os efeitos da Estrada no Parque Nacional do Iguaçu elucidando atropelamentos de animais silvestres na BR-277; no Rio de Janeiro, Zau *et al.* (2007) estudando o Parque Nacional da Tijuca mostraram o efeitos de borda decorrentes de estrada pavimentada na composição física da vegetação e invasão de exóticas.

Para ter uma idéia, da pouca ênfase dada a pesquisas questionando inserção de estradas em Parque, basta comparar a escala temporal entre a criação do Parque Nacional do Iguaçu, em 1939, e o fechamento da estrada do Colono que só veio correr em 2008, após inúmeros processos judiciais, e manifestações sociais 67 anos depois. Esse é o primeiro fato concreto no Brasil de fechamento de uma estrada em um PN. O desconhecimento do assunto era tão evidente que no Decreto nº. 86.676, de 1 de dezembro de 1981, onde se estabeleciam novos limites para o Parque, a estrada já aparecia como elemento de referência, quando citada como limite a BR-277.

A inserção da estrada do Colono era um elemento que fragmentava o Parque. Porém, devido a sua importância na região foi alvo de intensos conflitos judiciais entre ambientalistas e políticos. Atualmente a estrada encontra-se fechada, mas quando em uso fragmentava o parque no sentido Norte-Sul, em uma extensão de 18 km, e largura variando entre 10 e 15 metros.

Bonassa (2004) que acompanhou todo esse processo judicial, afirma que ambientalistas, reclamavam o fechamento dessa estrada, ou para uso exclusivo do Parque (manutenção, proteção, fiscalização e pesquisa). Embora o plano de manejo tivesse a posição em favor ao seu fechamento, em oposição havia o Plano Rodoviário Estadual do Paraná (1980), que incluía em suas diretrizes o asfaltamento da estrada. O conflito envolveu o DER o IBDF (atual IBAMA), e uma entidade ambientalista denominada Associação de Defesa e Educação Ambiental (ADEA).

Em 2001, após conflito envolvendo invasões de moradores que pediam a abertura da estrada, em mega-operação envolvendo o Exército, a Polícia Federal, a Polícia Florestal e o IBAMA, a estrada foi fechada (Figura 5), entretanto o processo ainda tramita na justiça.

Esse caso é o pioneiro no Brasil e aponta mudança na política de Parques cuja maior contribuição se dá em decorrência do fechamento da estrada do Colono. Por outro lado, colocou-se em dúvida a posição tradicional da Biologia da Conservação, que considera a estrada como corredor.



Figura 5: Limites do PN do Iguaçu (339.530.00 ha) em mancha verde escuro, sob pressão urbana, sobretudo pelo município de Foz do Iguaçu (mancha verde claro).

Fonte: Image©GeoEye /© Cens Spot Image 2011

2.5 Estudos associados à inserção de estradas em habitats dos PN do Brasil com o uso do sensoriamento como ferramenta

No Brasil é escasso o estudo sobre danos provocados por estradas utilizando-se a técnica do sensoriamento remoto, o que torna o tema inovador.

Neste contexto, Galo e Novo (1998) utilizaram o NDVI para avaliação do grau de fragmentação no Parque Estadual Morro do Diabo em São Paulo. Estudos envolvendo a cobertura vegetal vêm crescendo, e se dão em diferentes níveis de abordagem, incluindo os estudos taxonômicos e fisiológicos, dentre outros. A descoberta da interação entre a radiação e vegetação, a partir da absorção da radiação eletromagnética emitidas pelo sol pelas plantas, permitiu tais estudos em nível de detalhe.

Nesse sentido o sensoriamento remoto ganhou impulso considerável, com a disponibilidade de imagens orbitais. Ampliaram-se as possibilidades de análise, no domínio espectral das propriedades e condições ambientais da cobertura vegetal (MENESES e NETO, 2002). Essa técnica vem fornecendo informações precisas e úteis, devido ao seu potencial na medição de parâmetros biofísicos, com detecção de sua variabilidade tanto temporal como espacial (DAUGHTRY *et al.*, 2000; MENESES e NETO, 2002; MORAN *et al.*, 2001), propiciando mapeamento de extensas áreas da superfície terrestre, monitoramento, fiscalização e o controle da exploração em diversas escalas de observação.

Nesta pesquisa, buscou-se no sensoriamento remoto, através dos índices de vegetação - NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), avaliar a assinatura espacial comparativa entre os anos de 2001 e 2007 da Zona de Amortecimento do PNC, permitindo observar a mudança da cobertura vegetal, apontada por tais técnicas que atingem de forma pontual, as formas de relevo do sexto táxon geomorfológico, principalmente nas proximidades das estradas.

Por fim, estudos internacionais e nacionais sobre efeitos negativos das estradas ao meio ambiente relatam as consequências do fluxo de veículos sobre a fauna e flora; destacam o efeito de borda; ou têm foco no processo de fragmentação.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da ZA do Parque Nacional do Catimbau (PNC)

O PNC criado através do Decreto Lei 4.340 de 22 de agosto de 2002 localiza-se a 8° 24' 00'' e 8° 36' 35'' S, e 37° 09' 30'' e 37° 14' 40'' WG, no semiárido da região Nordeste, Estado de Pernambuco, na zona de transição entre o Agreste e o Sertão, de paisagem com riqueza de biodiversidade ímpar no bioma Caatinga, totalizando uma área de 62.300 ha (Figura 6). Considerado por como área de extrema importância biológica, o que é fundamental para a determinação de ações prioritárias de conservação e utilização sustentável da biodiversidade do bioma Caatinga (VELLOSO *et al.* 2002).

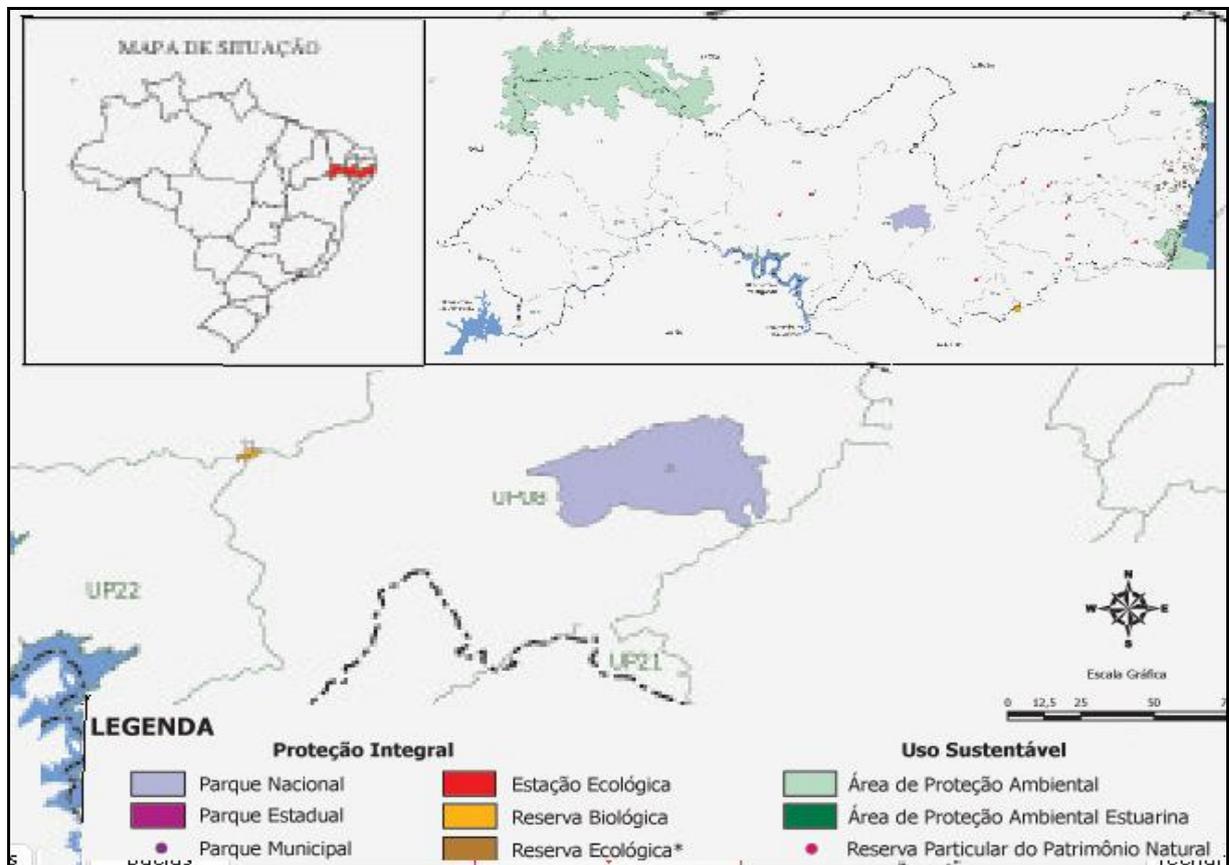


Figura 6: Localização do Parque Nacional do Catimbau no Brasil e no estado de Pernambuco.

Fonte: ITEP (2002). Modificado pelo autor

A área do Parque por suas dimensões encontra-se territorialmente distribuída entre os municípios de Buíque (12.438 ha); Tupanatinga (23.540 ha) na Microrregião do Vale do Ipanema, e Ibimirim (24.809 ha) na Microrregião do Moxotó todos no Estado de Pernambuco (Figura 7). Sua criação atende política ambiental regulamentada pelo artigo 225, item I,II,III, VII da Constituição Federal que fundamentou o SNUC com a funcionalidade de regulamentar a partir do decreto 4.340/2 como foco a lei 9.985/00 de criação do SNUC.

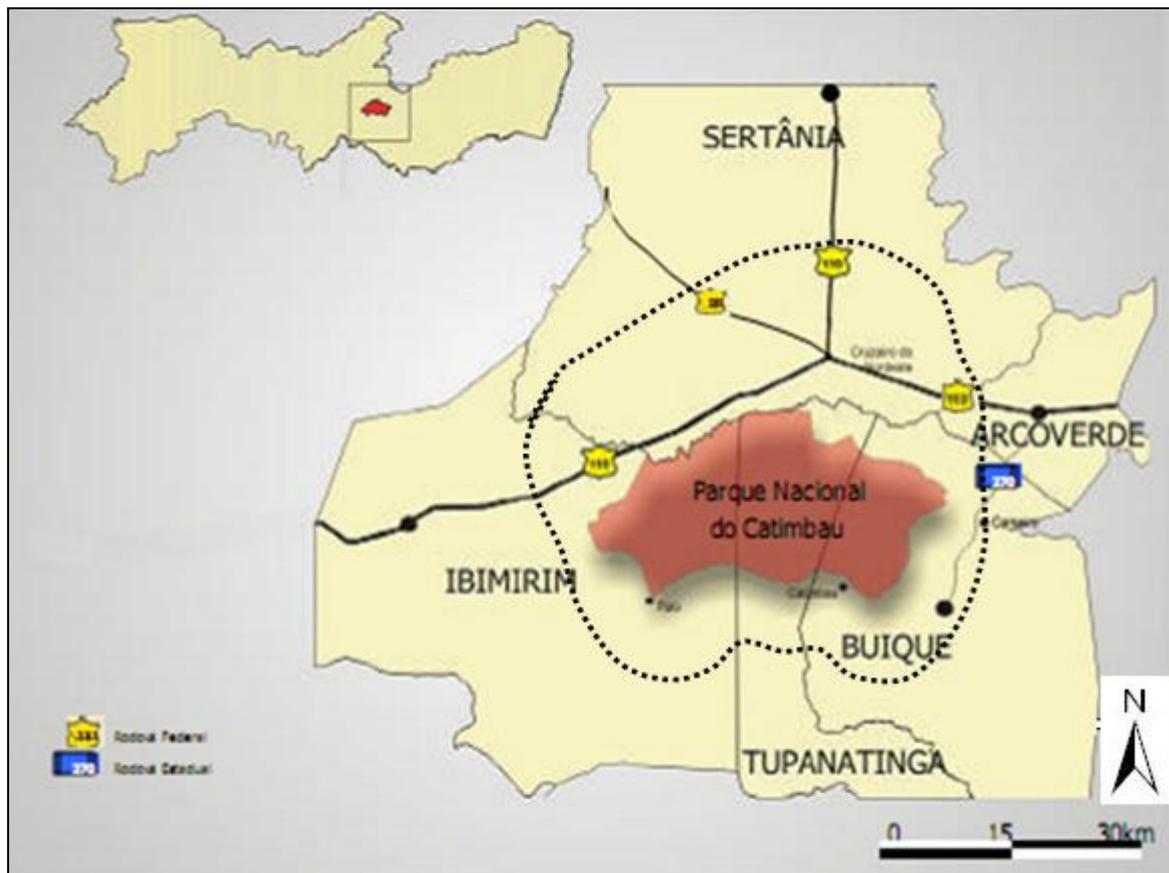


Figura 7: A ZA do Parque Nacional (Linha pontilhada) circunda o PNC em um área de 10 Km, abrangendo partes dos municípios de Buique, Tupanatinga, Ibimirim, Sertânia, e Arcoverde. Fonte: S.N. E. (2002). Modificado pelo autor.

3.2 A Zona de Amortecimento (ZA)

A ZA é definida como a porção imediata à área protegida que circundando o parque na forma de um polígono de 10 km de extensão, abrangendo partes dos municípios de Sertânia, Arcoverde, Tupanatinga, Ibimirim e Buíque. Nessa porção adjacente à área de protegida, o uso da terra é em tese particularmente restringido para incorporar uma camada a mais de proteção para a UC. Pode servir a duas funções. Primeiro, pode ampliar a presença na área de certo tipo de habitat, permitindo a manutenção de populações maiores que aquelas possíveis dentro do Parque. Em segundo lugar, pode servir a propósitos sociais, quando os habitats presentes nela forem de importância secundária. Pode servir de benéficos econômicos à comunidade residente com o incentivo a atividades que gerem recursos de subsistência ou monetários à população do parque (MORSELLO, 2001).

A Resolução 13/90 de 06/12/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que define a ZA, afirma que as atividades nessa área devem ter

obrigatoriamente permissão do órgão ambiental competente e somente será concedida mediante autorização do órgão responsável pela administração da área (RODRIGUES, 2006).

Rodrigues (2006) realizou a delimitação teórica desta ZA, que abrange 1.495,1 ha, e circunda o Parque, numa extensão de dez quilômetros de largura. Localiza-se entre as latitudes 8° 16' 30" e 8° 38' 30" S, e longitudes 37° 43' 30" e 37° 1' 30" WG, domínios do Sertão de Pernambuco (Figura 8). Pela ausência de regulamentação e fiscalização da ZA no entorno do PNC, tem-se propagado uma intensa degradação ambiental, com uso inadequado do solo, desmatamento, deposição de resíduos e efluentes, comprometendo sobremaneira o entorno do PNC (RODRIGUES *et al.*, 2010).

3.3 Caracterização física da Zona de Amortecimento

Quanto aos aspectos geológico, a Zona de Amortecimento do PNC, apresenta amostras significativas da Geologia característica presente no Estado de Pernambuco, inclusive os de origem estrutural, ou seja possui unidades pertinentes ao Embasamento Pré-cambriano, dos períodos Paleoproterozoico, Mesoproterozoico e Neoproterozoico; bacias sedimentares de idades que vão desde o Paleozoico, Mesozoica denominada de Bacia do Jatobá, e as mais recentes, ou Cenozoica (Figura 8).

No setor norte onde se situam o eixo da BR 232, que abrange o município de Arcoverde até o município de Cruzeiro do Nordeste, prepondera o Embasamento Cristalino, Neoproterozoico datados de 1.bilhão de anos, **N3K** Suíte ultrapotássica peralcalina: granitos, sienitos, monozitos; Mesoproterozoico de 1,8 bilhão de anos, **MVe** Complexos Vertentes: xistos gnaisses, migmatíticos, **Mf** Complexo Floresta: Ortognaisses, granodioritos, granulitos e migmatíticos-gnáissico (Figura 8).

Ao leste da ZA e eixo da rodovia PE 370, e vicinal do Carneiro, Embasamentos Cristalino Mesoproterozoico de 1,8 B.a, **N2k** Suíte tipo Itaporanga: granitoide. Ao Sul prevalecem domínios dos Sedimentos da Bacia do Jatobá que vão do Paleozoico, dos períodos Siluriano 435 M.a, Grupo Jatobá : SDt - Formação Tacaratu, Conglomerados, arenitos, grossos e finos, Devoniano 410 M.a, Di – Formação Inajá. Por a Vicinal do Catimbau indo até o sitio frutuoso, sobreleva sedimentos Ciberturas Cenozóicas do Quaternário de 1,5 milhões de anos **TQe**, Sedimentos coluvinares, ou aluvionareas arenosos (Figura 8).

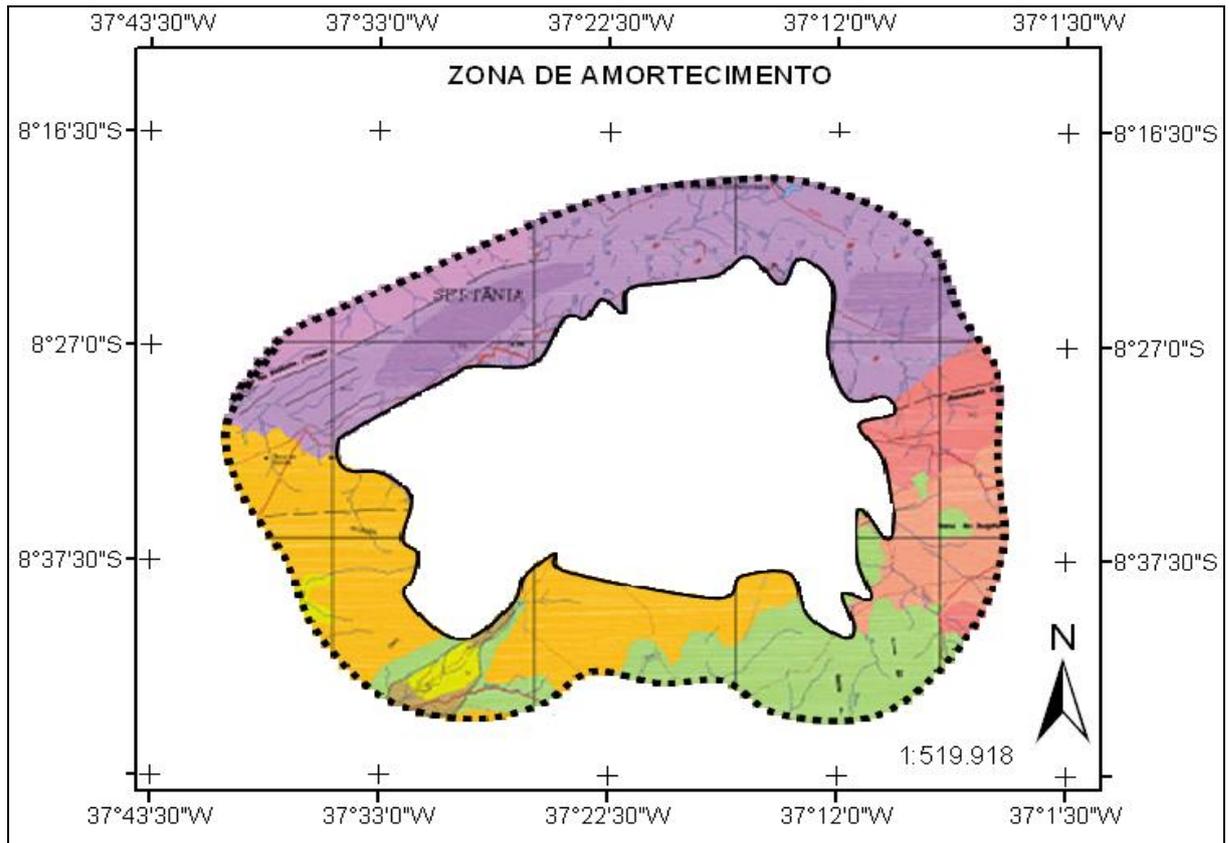


Figura 8: Mapa Geológico da ZA do PNC: ao norte e ao leste predomina Embasamentos Pré-Cambrianos; ao sul os Sedimentos da Bacia do Jatobá e Coberturas cenozoicas.

Fonte: (CPRM, 2001, escala original: 1:500.000). Modificado. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues. 2010).

Quadro2: Legenda das unidades geológicas que afloram na região, com destaque para as localizadas na poligonal delimitadora da ZA do Parque Nacional do Catimbau. Fonte: S.N.E. (2002). Modificado pelo autor.

Coberturas Cenozoicas	Cenozoico	Quaternário	1,5 M.A	TQe	Sedimentos coluvinares, ou aluvionares arenosos.
		Terciário	55 M.A		
Sedimentos da Bacia do Jatobá	Mesozoicos	Cretáceo Inferior	145 M.A	Kd	GRUPO SANTO AMARO: Formação candeias, sedimentos folhelhos, intercalações calcárias, lentes arenosas.
		Jurássico	150 M.A	Já	GRUPO BROTAS: Formação aliança: arenitos médios, grossos, siltitos, margas e folhelhos.
	Paleozoico	Devoniano	410 M.A	Di	GRUPO JATOBÁ: Formação Inajá
		Siluriano	435 M.A	SDt	Formação Tacaratu: Conglomerados, arenitos, grossos e finos.
	Neoproterozoico		1.B.A	N3K	Suíte ultrapotássica peralcalina: Granitos, sienitos, monozitos

Embasamento Pré-Cambriano	Mesoproterozoico	1,8 B.A	N2k	Suíte tipo Itaporanga: Granitoides.
			Mve	Complexos Vertentes: Xistos gnáisses, migmatíticos.
	Paleoproterozoico	2,5 B.A	Mbf	Complexo Belém do São Francico: Gnisses, migmatíticos e xistos.
			Mf	Complexo Floresta: Ortognaises, granodioritos, granulitos e migmatíticos-gnáissico.

Quanto ao clima da área, predomina a sotavento do Planalto do Jatobá, o clima semiárido, abrangendo as mediações de Ibimirim, Cruzeiro do Nordeste, e Arcoverde. Por sua vez, o setor mais úmido é dominante nas áreas próximas a Buíque. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo BShw com transição para o tropical chuvoso do tipo As'. As médias das chuvas anuais oscilam, na região, entre 650 a 1100 mm, com grande irregularidade no regime interanual. Dada à posição geográfica, acha-se submetida aos regimes de outono-inverno (s) e verão-outono (w), onde cerca de 60 a 75% das chuvas ocorrem no período de março a junho (LINS, 1989).

A hidrografia está totalmente inserida na bacia hidrográfica do rio Moxotó, de drenagem do tipo dendrítica (LINS, 1989). Tributário do rio São Francisco, nasce no município de Sertânia, nas vertentes da serra do Jabitacá, e serve de limite dos Estados de Pernambuco e Paraíba. A área do Parque é drenada por rios intermitentes, afluentes do riacho do Mel, que corresponde à esquerda do rio Moxotó, destacando-se o limite norte da área em estudo e, é um dos contribuintes do açude Poço da Cruz. É o maior afluente do rio Moxotó, com uma extensão de 85 km, e uma área de drenagem de 998 m².

As cotas altimétricas e os aspectos predominantes na ZA e área do PNC oscilam entre 500 e 1.199 m. Nas áreas de relevo escarpado a leste do Maciço da Borborema, as cotas são ligeiramente superiores a 700 m. Nas chapadas formadas por deposição de sedimentos nas bordas do parque atinge cerca de 600 metros, em áreas de antigos mares rasos ou lagos, onde hoje se encontra o relevo formado por mesetas, cuevas, formas-testemunho que foram soerguidos por esforços tectônicos, como é o caso da Chapada de São José (CORRÊA, 2005), encontram-se cotas que variam de 600 a 700 metros. Ao contrário, são as áreas situadas na Depressão Sertaneja, caracterizadas pela extrema planura, interrompida por nuances de elevações isoladas, denominadas inselbergs ou morros-ilha, em cotas na faixa de 530 a 585 metros (Figura 9).

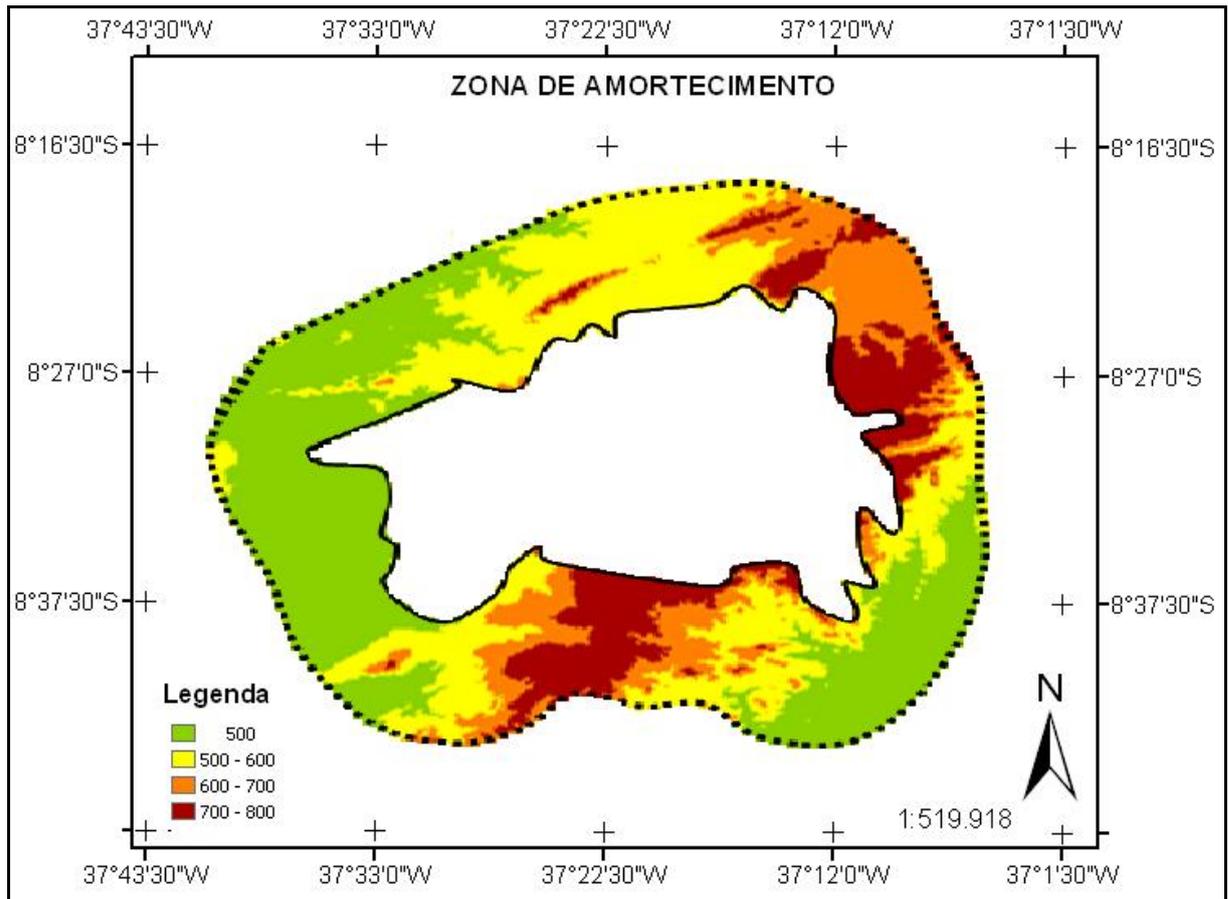


Figura 9: Mapa Hipsométrico da ZA do PNC. Observa-se que as contas iniciam-se com 500 metros, condição que decorre em função de sua localização entre o Planalto da Borborema e o Planalto da Bacia do Jatobá Testemunhos de Planaltos Sedimentares. Fonte: Landsat 5 TM(2008). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2011).

Quanto aos aspectos geomorfológicos da ZA do PNC encontra-se situada entre os Compartimentos de Relevo de Pernambuco denominados Chapada da Bacia do Jatobá e o Maciço da Borborema. Embora o PNC se situe totalmente dentro da primeira unidade de relevo, mas sua ZA e rede rodoviária se situam entre os dois compartimentos. Isso decorre pelo fato da ZA se estender na forma de um polígono de dez quilômetros no entorno do Parque, ocupando parte da chapada no sentido Norte, Sul e Oeste; a Leste parte das estradas inseridas na ZA ocupam setores do Maciço da Borborema (CORRÊA, 2005).

Quanto à vegetação, o PNC por se localizar no semiárido do Nordeste brasileiro, e ser dotado de uma grande heterogeneidade de formas de relevo e processos geológicos estabelecidos principalmente no Terciário e Quaternário, sofre influência diferenciada das massas de ar, propiciando distintas unidades pedológicas, totais de pluviosidade, bem como sua forma de distribuição, isto remete a distintas unidades de paisagem, com floras características de cada uma delas (NOGUEIRA *et al.*, 1994).

Nos planaltos e chapadas dessa região, são encontradas vegetações residuais ou encraves de mata úmida nos brejos de altitude e, a vegetação arbustiva perenifólia das chapadas sedimentares, que representam refúgios vegetacionais formados por espécies de Caatinga, floresta, Campo Rupestre e Cerrado (MAYO e FEVEREIRO, 1982; RODAL *et al.*, 1998).

Diferentes tipos vegetacionais são encontrados na área, sendo sua flora formada por um mosaico de tipos florísticos bastante diferenciados que podem ser caracterizados por cinco formações distintas: Caatinga arbustivo-arbórea, Caatinga arbustiva com predominância de elementos do Cerrado, Caatinga arbustiva com elementos de capôs rupestres, vegetação florestal perenifólia e Caatinga arbustiva perenifólia. Nas chapadas, tanto nas áreas mais baixas e circundantes das serras, como nas encostas erodidas, é identificada uma Caatinga com predominância de elementos próprios de Cerrado. Nesse ambiente, a Caatinga apresenta porte arbustivo baixo e esparso, com solo geralmente arenoso branco. Em alguns locais mais baixos, a fisionomia assemelha-se a uma Restinga litorânea.

Na base de algumas dessas serras, formam-se verdadeiros vales, onde o arrasto de solos com matéria orgânica das encostas e o acúmulo de umidade propiciam a instalação de uma área de floresta úmida, caracterizando uma vegetação florestal perenifólia, conhecida no Nordeste como “brejo de altitude”. Apesar de encontrar-se bastante antropizado, nesse ambiente foi constatada a presença de espécies distintas da flora geral da região. A Caatinga arbustivo-arbórea, geralmente localizada nas vertentes a sotavento, como é caso do setor Norte.

3.4 Aspectos geomorfológicos

Quanto aos aspectos geomorfológicos elucidados particularmente nessa pesquisa decorrem da necessidade de localizar em que escala o fenômeno efeito estrada pode ser percebido. A análise geomorfológica utilizada baseou-se nos pressupostos da metodologia proposta por Ross (1992). Segundo esse autor são seis os níveis de análises denominados por Táxon (Figura 11).

Táxon do plural *taxa*, em latim, ou táxons, é uma unidade taxonômica, essencialmente associada a um sistema de classificação científica. Essas unidades podem estar em qualquer nível de um sistema de classificação: um reino, por exemplo, assim como um gênero é um táxon, do mesmo modo uma espécie também é um táxon ou qualquer outra unidade de um sistema de classificação dos seres vivos.

Ross (1992) propôs dividir o relevo do Brasil em taxon, baseia-se em três maneiras diferentes de explicar o relevo: morfoestrutural: leva em conta a estrutura geológica; morfoclimática: considera o clima e o relevo; morfoescultural: considera a ação de agentes externos. Diferente de formas de relevo, ou níveis, foram denominados de táxons.

O 1º táxon de relevo (Ross, 1992; 1996) (Figura10), considera a forma de relevo que se destaca em determinada área — planalto, planície e depressão, representa maior extensão em área e, corresponde às unidades morfoestruturais, identificadas segundo escala de tonalidades de cores em imagens de satélite como se observa na figura10. Esse Táxon pode ser comparado na Ecologia da Paisagem como escala ampla (TURNER, 1989).

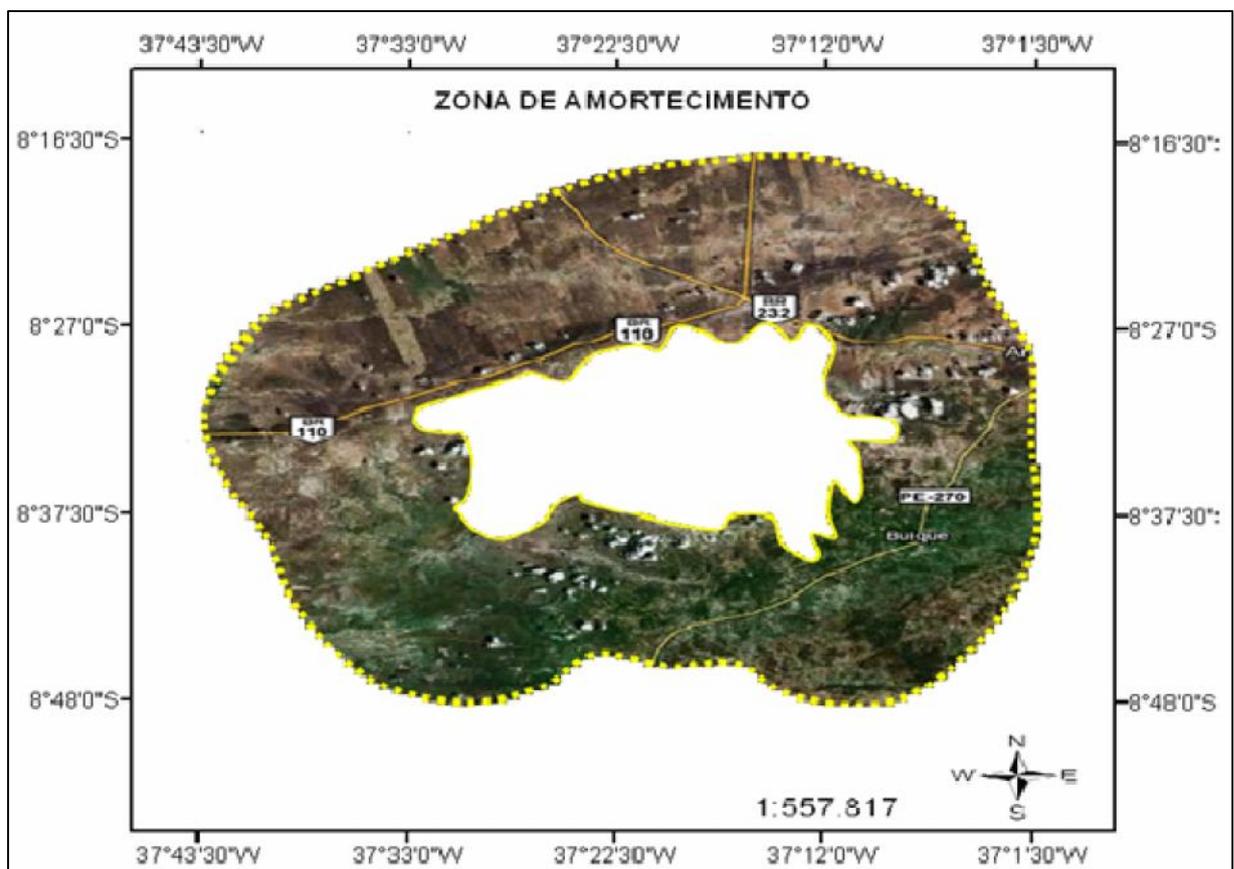


Figura 10: Observa-se na que na ZA do PNC, compartimentos da Depressão Sertaneja ao norte em cor marrom. Ao Leste em cor verde de textura rugosa retalhos do Planalto da Borborema, e ao sul, predomina textura plana e em cor verde parte da Chapada da Bacia do Jatobá. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2011). Fonte: Imagem ©GeoEye /© Cens Spot Imagem 2011. (Modificado pelo autor, 2011).

O 2º Táxon de relevo (Ross, 1992; 1996) representa maior extensão em áreas e corresponde às unidades morfoestruturais, e leva em consideração a estrutura geológica onde os planaltos foram modelados — bacias sedimentares, núcleos cristalinos arqueados, cinturões orogênicos e coberturas sedimentares sobre o embasamento cristalino, neste caso identificando-se dois compartimentos ou unidades distintas; uma primeira sedimentar

caracterizada por mesetas e chapadas de topo plano (textura lisa e em tom marrom) e, outra de forma complexa que sugere o uso de do termo Maciço da Borborema composto por cristas e serras isoladas (cor verde), segundo os postulados de Corrêa (2005)(Figura 10).

O 3º táxon: Considera as unidades morfoesculturais, formada tanto por planícies como por planaltos e depressões, usando nomes locais e regionais. O relevo de determinada região depende de sua estrutura morfológica. Na ZA esse compartimento é representado pela Depressão Sertaneja, que em suas área de pediplano apresentou efeito estrada associada a redução de vegetação ao longo da BR 232, e BR110, ambas no eixo norte (Figura 11).

O 4º táxon considera as formas individualizadas, em geral caracterizadas por formas arredondadas ou convexas, vales entalhados, que, individualmente caracterizam-se como morros. Na ZA foi possível detectar os padrões colinosos presentes no Maciço da Borborema a oeste, e padrões de mesetas e relevos tabulares, como são os casos das chapadas de São José e do Catimbau, no sentido leste e norte. Entretanto, foi neste Táxon ou na escala ampla da paisagem, que campos agrícolas, estruturas, rios, lagos, são vistos como componentes de um mosaico. Esses podem estar unidos por faixas, linhas como é o caso das estradas, que tradicionalmente são vistas como um corredor (TURNER, 1989).

O 5º táxon refere-se às partes que compõem o relevo ou tipo de vertentes. Essas só podem ser totalmente representadas por cartas cartográficas com auxílio de fotografias aéreas em escalas de detalhe: (1:25.000, 1:10.000, 1:5.000), ou imagem de satélites de alta resolução espacial (VENTURY, 2005), o que não foi abordado neste trabalho.

O 6º Táxon corresponde às pequenas formas de relevo que se desenvolvem ao longo das vertentes, geralmente por interferência humana. São formas geradas por processos erosivos e acumulativos atuais. Esse Táxon particularmente apresentou diversas formas resultantes das intervenções antrópicas relacionadas ao efeito estrada, como o caso de ravinas (Figura 11), aterros sanitários, dentre outros. Esta aplicação da observação do espaço, segundo unidades taxonômicas, vem corroborar os postulados da Ecologia da Paisagem, sobretudo quando TURNER (1989) propõe o termo “escala fina”, onde o efeito estrada foi bastante enfático.

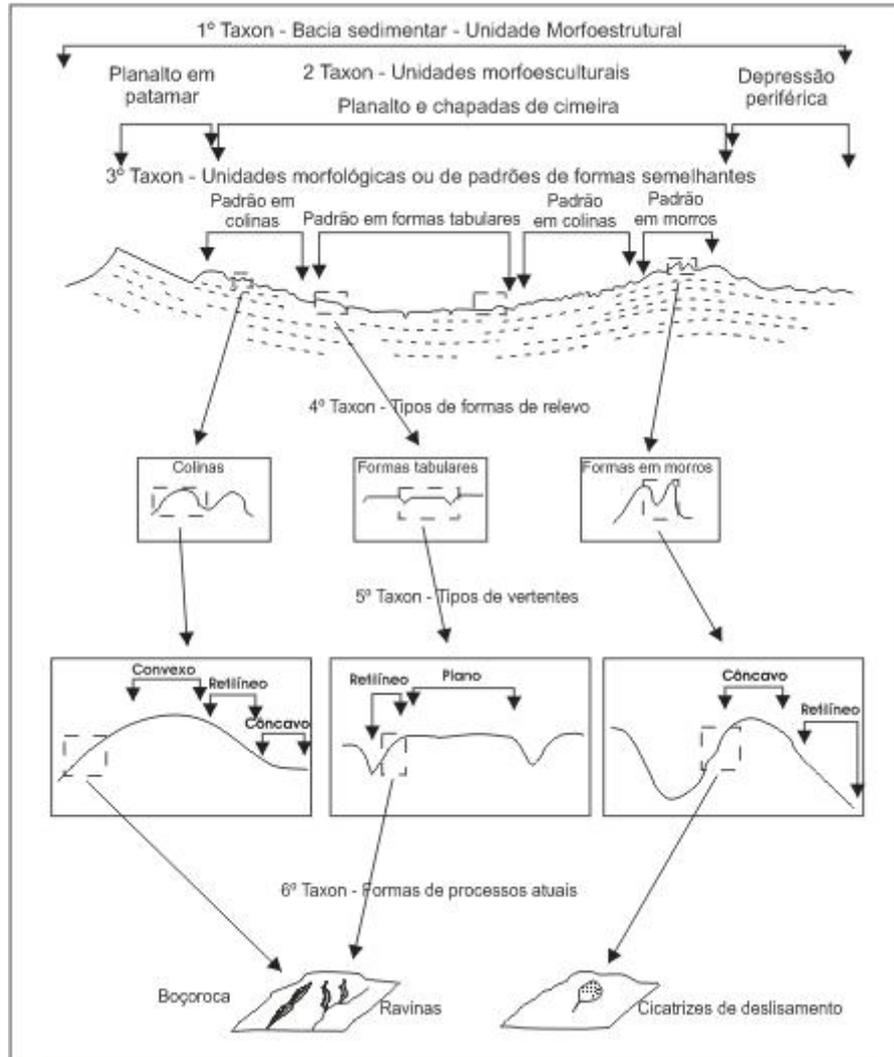


Figura 11: Representação esquemática das Unidades Taxonômicas proposta. As escalas espaciais variam da maior vista no alto da figura como sexto Táxon, a escala menor de 6º Táxon. Fonte: Ross (1992).

4. MATERIAIS E METODOS

A pesquisa no nível compilatório, tendo como base leitura e interpretação de textos, foi possível perceber três séries de pesquisas: processos de fragmentação, efeito de borda, e efeito de fluxos de viculos em estradas. Na análise desses três díspares vieses, construiu-se uma correlação de fenômenos que permitiu através de procedimento técnico metodológico chegar a construção conceitual do termo de *efeito estrada*.

Em uma etapa segunda, considerou a aplicação do conceito *efeito estrada*, e sua correlação com níveis de impactos ambientais. A aplicação do conceito mostrou-se como funcional e positivo, quando se considerou sua aplicação no conjunto dos 52 PN brasileiros. Como resultado, verificou-se que as estradas inseridas no conjunto do parque nacionais, onde

aparecem como limites, ou como acesso aos parques, apresentou-se como um elemento fragmentador de habitats, gerador de impactos ambientais, e diretamente relacionado com a redução de vegetação nas proximidades de estradas, fenomeno conceituado de *efeito estrada*, condição que levou a questionar o rotulo da estrada na Ecologia da Paisagem como corredor .

Por fim a preposição *efeito estrada* quando aplicado na ZA do Parque Nacional do Catimbau, mostrou-se cabível enquanto hipótese a ser testada, sendo possível de verificação por meio de aferição empírica, e uso do NDVI em sua dinâmica espaço-temporal.

4.1 Imagens de Satélite e construção de mapas

A construção da composição RGB, e dos mapas da zona de amortecimento e recortes dos eixos rodoviários em NDVI, foram utilizadas duas imagens geradas pelo mapeador temático do satélite Landsat cinco, compostas de sete bandas espectrais, cujas principais características estão descritas na Tabela 3, que inclui, ainda, a irradiância solar monocromática – $K\lambda_i$ das bandas refletivas, onde i representa os canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7, incidente sobre uma superfície normal à direção dos raios solares, no topo da atmosfera terrestre, a uma Unidade Astronômica do Sol. Essas imagens correspondem à passagem do Landsat 5 TM sobre a área de nos dias 15 de maio de 2001 (Dia Juliano = 135) e 19 de julho de 2007 (Dia Juliano = 200), na órbita 215 e ponto 66.

Para a obtenção do balanço de radiação à superfície foi utilizada a ferramenta Model Maker do ERDAS versão demonstrativa, destinados às tarefas descritas a seguir. E, para espacialização dos resultados em mapa foi utilizado o software de geoprocessamento ARCGIS. Na tabela 3, estão representados os valores de declinação solar, ângulo zenital, distância relativa Terra Sol no dia e hora da passagem do satélite TM Landsat 5 no Parque Nacional do Catimbau cidade de Buíque.

Tabela 3. Valores utilizados no cálculos do NDVI disponíveis no INPE. As datas indicadas na colunas da esquerda correspondem as datas da passagem do satélite Landsat 5. As linhas registram os dados da declinação solar; ângulo zenital; distância relativa Terra - Sol, em relação a posição do sensor do satélite.

Parâmetros/dias	15/05/2001	19/07/2007
Declinação solar Graus (°)	48.358	47.6624
Ângulo Zenital (Z) Graus (°)	0.747311206	0.739189275

) Distância relativa Terra –Sol (d _{T-S}) (UA	3.208297208	3.244838182
---	-------------	-------------

Fonte:INPE (2008).

As imagens foram obtidas no site de geração de imagens do INPE em formato geotiff com projeção Datum UTM/SAD-69. Este satélite possui uma resolução espacial de 120 m, cobrindo cada *pixel* uma área de 4.800 m², resolução temporal de 16 dias e radiométrica de oito bits. As sete bandas de cada uma das imagens foram empilhadas e depois recortadas através do software ERDAS Imagine 9.3. Quanto ao processo de georreferenciamento foram utilizados vinte pontos obtidos via GPS para correção das imagens. O recorte das composições RGB e do NDVI da ZA baseou-se na legislação ambiental brasileira, que regula a extensão da zona de amortecimento no caso 10 km Por fim na fase de campo se construiu um roteiro para marcação e georreferenciamento de pontos com uso de GPS, devidamente registrados por fotos digitais. Essas imagens em outro momento foram inseridas no programa Arcmap onde foram gerados os mapeamentos cartográficos.

4.2. Calibração radiométrica

A calibração radiométrica é a conversão do numero digital, ND, de cada pixel da imagem em radiância espectral monocromática. A radiância concebe a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda seis, denominada banda termal, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel. Nesse processo, utilizou-se a seguinte relação, como apresentada por Markham; Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$$

Nesta fórmula a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas, ND é a intensidade do pixel que varia de 0-255, e o índice corresponde às bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

4.2.1 Refletância monocromática

A etapa dois representa o cômputo da refletância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, que é obtida com a equação de Allen *et al.* (2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r}$$

onde, L_{λ_i} é a irradiância espectral de cada banda ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$); K_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$); Z é o ângulo zenital solar; d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol ver em cada dia do ano.

4.2.1 Índices de vegetação (NDVI)

O uso do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), proposto por Rouse *et al.* (1973 *apud* LIU (2006)), e utilizado nessa pesquisa para averiguar o efeito estrada tem como vantagens sua acurácia de dados, por usar apenas duas bandas (Bandas 3 e 4), e o fato de encobrir parcialmente os efeitos da presença dos constituintes atmosféricos e das perturbações radiométricas e geométricas (HOLBEN,1986). Por isso, suas amplas aplicabilidades justificam seu uso crescente, vem se constituindo em uma importante ferramenta de monitoramento, decorrente de suas potencialidades tanto em escala espacial e temporal ou comparativa.

O cálculo se dá pela fórmula $\text{NDVI} = (\text{Banda4} - \text{Banda3}) / (\text{Banda4} + \text{Banda3})$, segundo Rouse *et al.* (1973) e pondera uma variação de valores que flutuam entre -1 e +1. Os valores negativos representam presença de nuvens e, ao redor de zero, para solo sem vegetação. O valor mais alto indica um grau de verde da superfície, chegando a 0,833 e, nunca ultrapassa 0,84 (LIU, 2006).

O NDVI vem sendo utilizado com sucesso para classificar a distribuição global de vegetação, inferir as variabilidades ecológicas e ambientais, a produção de biomassa, a radiação fotossintética ativa, e a produtividade de cultura (LIU, 2006). Portanto o grau de verde inferido por esse índice reflete bem os efeitos dos fatores ambientais, tais como disponibilidade de água e nutrientes do solo, presença de doenças e pragas em vegetação específica. Nessa pesquisa observou-se que a redução de vegetação apresentou uma forte tendência com a proximidade de estrada, fenômeno aqui denominado de **efeito estrada**. Por fim a nível normativo, que resultou na construção de histogramas, gráficos e tabelas expostas nessa pesquisa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 A conceituação do efeito estrada e avaliação do sistema viário como elemento fragmentador de habitats em parques nacionais do Brasil

Na revisão da literatura, observou-se uma ausência de conceitos que permita entender o que seja o *efeito estrada*. Por outro lado, prevaleceu nos dados levantados, a tendência, de que uma estrada provoca efeito de borda e fragmentação de biomas. Assim, foi possível construir o conceito do *efeito estrada* como uma modificação num habitat qualquer, e que se instaura em dois momentos distintos: um primeiro, quando da inserção de uma estrada, ocasionando fragmentação e o consequente efeito de borda; e um segundo, relacionado ao fluxo contínuo de veículos automotores, gerando impactos ambientais.

Esse efeito estrada pode ser dividido em quatro níveis de impactos. O primeiro relaciona-se aos dois momentos: um primeiro embrionário, que se inicia com uma simples abertura de uma picada¹ em meio à mata com consequente retirada da cobertura vegetal, deixando em seu lugar uma clareira de aspecto ora sinuoso ou retilíneo. Em outro subseqüente estabelece-se a estrada de terra. Nesse estágio a vegetação dificilmente se recupera devido à necessidade de manter a clareira sempre aberta para trânsito de pessoas, animais e, máquinas diversas (Figura 12 A e B).



Figura 12: Exemplos de impactos de primeiro nível (A) uma picada no meio do canavial mata elucida o primeiro estágio embrionário de uma estrada, constituindo uma clareira de aspecto ora sinuoso ou retilíneo e com poucas braças de largura e um diminuto fluxo de pessoas, e transporte de tração animal (Serra do Pio - zona rural - Belo Jardim-PE); (B) a estrada adquire um perfil mais regular para permitir fluxo de veículos automotores ampliando os impactos ambientais em decorrência do consumo de solo (estrada do Sítio Mulungu, Buique – PE). (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

¹ Picada sf. Passagem estreita ou larga aberta no mato a golpes de facão; para acesso a certo ponto, fixação de rumo, transporte eventual, linha de transmissão, divisa, etc.; pode ter várias braças de largura. Dicionário de Aurélio Buarque de Holanda (2000).

Os segundos níveis de impactos ambientais ocorrem também em duas situações: uma primeira relacionada aos fluxos que conectam os eixos: campos agrícolas, comércio, vilarejos, barragens, cidades, entre outros, passam a ser comandados com ênfase pelo domínio mercantil e ganhando importância econômica dentro da rede, resultando no aumento de fluxo e, conseqüentemente, a necessidade de sua pavimentação, ampliando o desmatamento e consumo de solo destinado a camada asfáltica, área de acostamento, e faixas de domínios, obras que quase sempre requerem escavações, aterros, ravinamentos, impermeabilização do solo, e interferências na hidrografia local. Por fim, acrescenta outras intervenções negativas, como é caso de danos a fauna (atropelamentos de animais), lançamento de lixo por condutores e passageiros, notadamente visíveis nos acostamentos e nas faixas de domínios das estradas (Figura 13).



Figura 13: Impactos de segundo nível: (A) exemplo de danos à fauna nas margens da PE 270 que conecta o município de Arcoverde e Buique – PE; (B) disposição de lixo na faixa de acostamento ao longo da rodovia BR 232, próximo a Serra dos Pereiros nas proximidades de Arcoverde, inserida na ZA do PNC. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

Os impactos de terceiro nível ocorrem em função da mecânica básica dos veículos que permitem sua locomoção. São os casos do motor, sistema elétrico, de transmissão, direção e freios, pneus, que quando em funcionamento resultam em emissões de luzes, poluição sonora, calor, lançamentos de partículas, óleos, graxas, combustíveis, gases tóxicos, fuligem do combustível queimado, borrachas, pneus, trepidações, entre outros. O mesmo se pode afirmar das colisões e incêndios, e o conseqüente abandono de veículos nas rodovias (Figura 14).



Figura 14: Impactos ambientais de terceiro nível. (A) sucatas de automóveis abandonados nas rodovias PE 260; (B) restos de pneus oriundos de borracharias na área de acostamentos da BR 232 no município de Cruzeiro do Nordeste –PE. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

Os impactos de quarto nível referem-se à ocupação das faixas de domínio, por construções de estruturas que dão suporte aos automóveis e condutores que circulam pelas rodovias. Por exemplo, posto de abastecimento, borracharias, lanchonetes, redes elétricas, torres de comunicação, serviços e moradia, *outdoor*, que normalmente se localizam nas bordas das rodovias (Figura 15).



Figura 15: Impactos de quarto nível em rodovias. (A) inserção de rede elétrica na faixa de domínio da rodovia BR 423 nas proximidades da cidade de Delmiro Gouveia-AL; (B) posto de gasolina inserido na faixa de domínio da BR 232, município de Cruzeiro do Nordeste. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

Além dos impactos relacionados à inserção de estradas, o efeito estrada condiciona o estabelecimento de diversas atividades impactantes, uma vez que uma estrada quando combinada a fatores motivadores de fluxos, pode vir a se tornar um elemento de partida de redução de cobertura vegetal, uma vez que propicia a seletividade espacial (CASTRO *et al.*, 2002).

Os mesmos autores afirmam que, no processo de organização do seu espaço, o homem age seletivamente, decide sobre determinado lugar conforme seus atributos e interesse, e em acordo com os projetos estabelecidos, a fertilidade do solo, um sítio defensivo, a proximidade de matéria prima, o acesso ao mercado consumidor, a presença de um porto, uma estrada, entre outras estruturas, que induzem ao desenvolvimento desordenado de atividades de produção, comumente observado ao longo das rodovias.

Esses são atributos que podem levar a localizações seletivas e, como consequência, a impactos ambientais, pode se considerado impactos de nível cinco, que quase sempre se da pela à expansão do efeito estrada além dos limites das faixas de domínios, caracterizado pela ocupação urbana de atividades que dão origens os vilarejos, e mais tarde distritos, e por fim cidades (Figura 16).

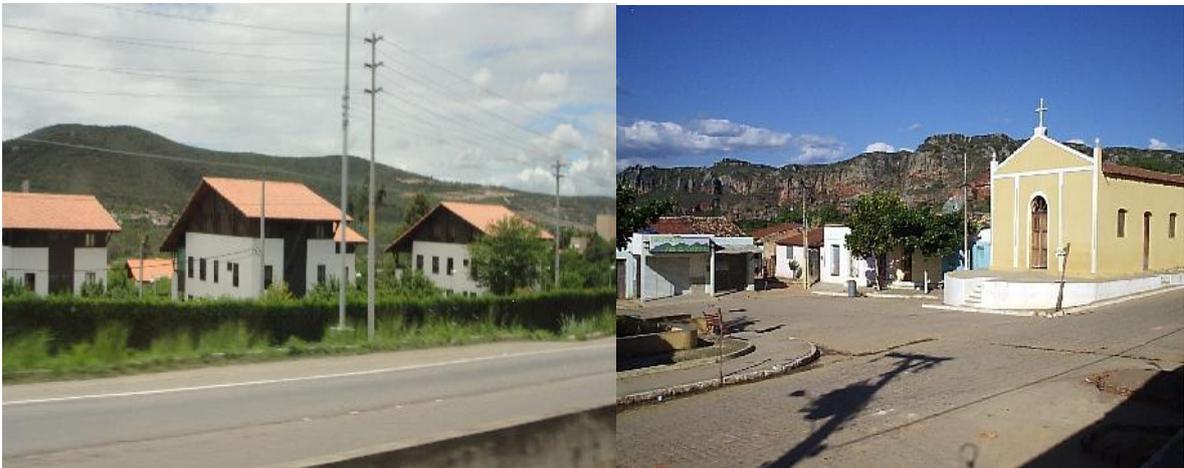


Figura 16: Impactos de quinto nível se dar quando as atividades econômicas se expandem além dos limites da faixa de domínio. A esquerda um condomínio de luxo instala-se a margem da BR 232 em Gravatá – PE. A direita a vila do Catimbau, constitui um exemplo efetivo da expansão do efeito estrada. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2010).

Considerando-se a possível extensão do efeito estrada sobre os ecossistemas, em função das normas estabelecidas pelo DER (DNIT), sabe-se que há dimensões mínimas para cada tipo de via de acesso. As estradas de terra não são regulamentadas, mas estima-se uma largura média de 7 m para elas; as submetidas à regulamentação possuem alcance teórico de 40 a 47 m, conforme portaria DNIT nº 19/1949. Esta recomenda uma largura mínima entre 7

m e 7,50 m, sendo o ultimo valor para rodovias especiais. A esse total são acrescidos mais 5 m referentes às duas faixas de estacionamento (acostamento), e outros 28 m de faixa de domínio. Esta faixa é regulamentada pela Lei 6.766/1979, e destina-se a projetos de duplicação, implantação de antenas de comunicação da rede móvel, cabo de telefonia fixa, gasodutos, oleodutos, rede de energia elétrica, galerias pluviais, placas de sinalização, painéis publicitários, placas de sinalização de trânsito, entre outros (Figura 17).



Figura 17: Representação de uma estrada simples de mão dupla. Ao centro vê-se em cor preta a faixa principal por onde se dá o fluxo de veículos, a faixa mais estreita amarela estabelece a divisão definindo os dois sentidos de tráfego mão e contramão totalizando 7 metros. O segundo componente é a faixa utilizada para estacionamento denominado por acostamento e representado pela cor cinza, esse setor mede 2,50 m para cada faixa, totalizando mais cinco metros a largura da estrada. Por fim, completando os componentes da estrada, a cor creme que representa a faixa de domínio que acrescenta 28 m à sua largura, totalizando um uso de solo por estrada de 40 metros. Exemplo, trecho da BR 232, km 250. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

Quando a rodovia aumenta seu fluxo inicia-se um processo de duplicação. Nesse caso a estrada é acrescida em 7 m, porém a faixa central de segurança que separa os dois sentidos pode variar de um mínimo de um a 5 m, dependendo dos obstáculos que possam surgir no trajeto (Figura 18). Na teoria e, em conformidade com a legislação, a extensão máxima da estrada seria de 47 m. No entanto, acréscimos podem ser constatados, como o observado na

figura 19, onde a estrada pode se estender até mais de 50m, o que pode aumentar consideravelmente o efeito estrada. Este, na prática e segundo o ponto de vista ambiental, refere-se ao valor máximo do raio de ação dos impactos gerados por uma estrada.

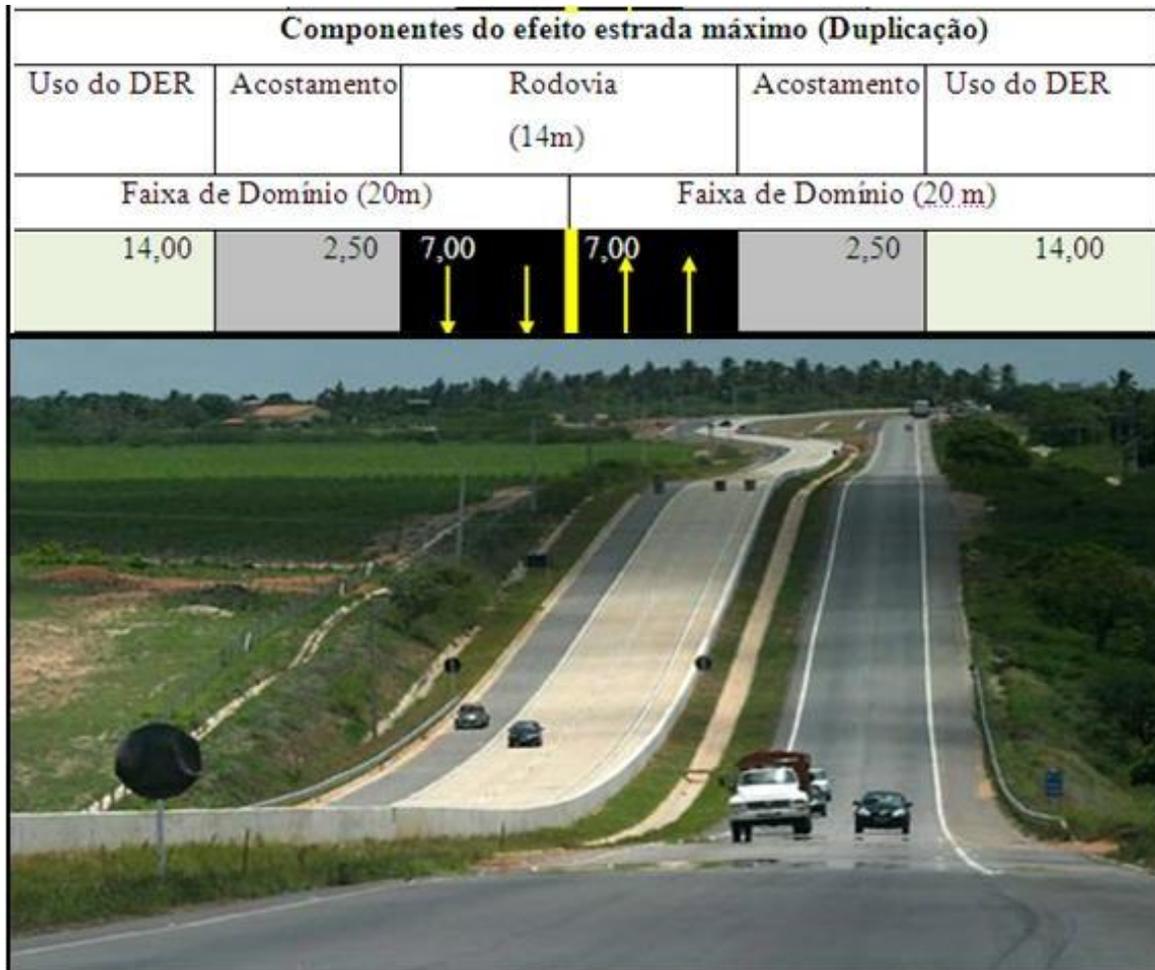


Figura 18: Representação uma estrada de duas vias de mão dupla. Partindo centro vê-se em cor preta a faixa principal por onde se dá o fluxo de veículos, a faixa mais estreita amarela estabelece a divisão definindo os dois sentidos de tráfego mão e contramão totalizando 14 metros. O segundo componente é a faixa utilizada para acostamento representado pela cor cinza, com 2,50 m para cada faixa, totalizando mais cinco 5 m à largura da estrada. Completando os componentes da estrada, a cor creme representa a faixa de domínio que acrescenta 28 m à sua largura, totalizando um uso de solo por estrada de 47 m. Exemplo, trecho duplicado da BR 232 nas proximidades do município de Gravatá (PE). (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

Pode-se afirmar ainda que o efeito estrada seja quase irreversível, uma vez que os impactos só cessam caso a estrada venha a ser fechada, podendo também diminuir por declínio econômico que deu funcionalidade ao lugar (Santos, 2005). Salvo essas condições, a estrada tende a continuar gerando impactos crescentes enquanto durar o fluxo de veículos. O modelo de sistema do efeito estrada com todas as suas fases podem ser mais bem observados de forma sequencial (Figura 20).

Entretanto, o nível de impactos não se resumem apenas as essas medidas técnicas. Diversos autores atribuem a diferentes elementos o alcance desses impactos sobre os ecossistemas adjacentes à estrada. A mudança na borda por movimento intenso, ou por variação do microclima local, pode alcançar até 35 m (SPELLERBERG, 1988; MADER, 1981). Materiais particulados podem inibir a germinação de sementes até 15 m, assim como minerais e nutrientes podem ser afetados de 25 a 30 m (SPELLERBERG, 1988). Estima-se, ainda, o impacto de pneus e borracha em 25 m, dióxidos de 10 a 35 m, erosão por retirada da vegetação entre 15 e 90 m e, a perda vegetal pode afetar até 150 m, assim como o solo e a água (SPELLERBERG, 1988; FORMANN e DEBLINGER, 1998).

Existem também estudos sobre o impacto em ecossistemas aquáticos. Estima-se que produtos químicos na borda da estrada afetem de um a 300 m; sedimentos afetam habitats e populações de peixes de 10 a 1000 m (SPELLERBERG, 1988).

Outros parâmetros como ruídos e luminosidade são também avaliados. Spellerberg (1998) atribui a ação da dispersão de luz de 15 a 100 m. Sabe-se que muitos organismos têm preferência por diferentes intensidades luminosas, sobretudo os vegetais e, aqueles preferem ambientes mais sombreados.

Fatores como ruído podem afetar a fauna. Os pássaros e alces (*Cervus elaphus*) têm sensibilidade até 900 m; ursos (*Ursus arctos*) e caribús (*Rangifer tarandus*) até 500 m, cervos (*Odocoileus hemionus*) até 300 m e cobras até 150 m (SPELLERBERG, 1988).

Efeitos em larga escala são possivelmente mais evidentes, como a fragmentação que leva ao isolamento das populações, com risco de extinção local. Formann e Deblinger (2003) estimam um efeito de 350 a 1000 m. Esses autores também consideram a mesma extensão para interrupção de movimento nos corredores de vida selvagem, invasão de espécies exóticas e, impacto humano sobre as espécies e ecossistemas. Contudo, em virtude das características ambientais de cada região e, dos avanços nas tecnologias de aferição, estes valores podem oscilar.

Quanto a essa forma de impactos na ZA do PNC. Os impactos ambientais resultantes do efeito estrada observados na ZA, de **nível um** (abertura da estrada), **dois** (lançamento de lixo e atropelamentos), **três** (dispersão de graxas, óleos, fuligem, luzes, e emissão de poluentes), manifesta-se nas mais de 60 estradas ou agrovias e nas rodovias pavimentadas (BR 232 e 110, PE 270), porém o primeiro nível só ocorreram nas rodovias no passado. Os impactos de **nível quatro** (inserção de redes) é mais enfático nas rodovias de maior fluxo, principalmente nas rodovias BR 232, PE 270 e BR 110. Por fim o **quinto nível**

(Urbanização, agricultura, etc.), que ocorrem em quase todas as rodovias, sendo esse a expansão e concretização do efeito estrada (Figura 19).

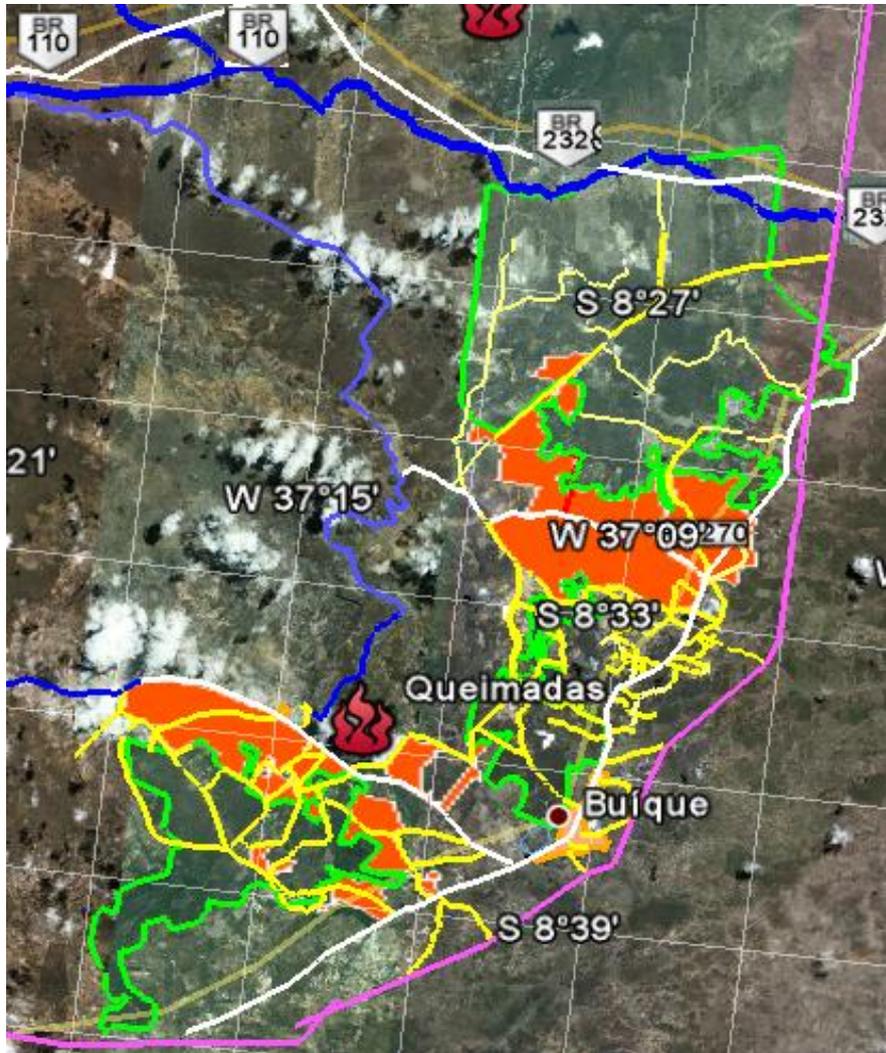


Figura19: Alteração da Matriz da ZA do P.N.C vem sendo acelerada pelo efeito estrada. As linhas amarelas representam as mais de 60 agrovias que fragmentam o habitat da ZA; as linhas brancas as rodovias federais e estaduais. Os polígonos em cor vermelha as áreas em uso na prática agrária e outros serviços. As manchas em cor laranja as manchas urbanas. Os fragmentos de Caatinga estão circundados por linhas verdes.
Fonte: Imagem ©GeoEye /© Cens Spot Imagem 2011. Modificado pelo autor.

A forma como o efeito estrada se manifesta pode ser exemplificada por estágios. No primeiro estágio há ausência de estrada e o meio natural está em equilíbrio. Porém há casos em que as redes são inseridas antes mesmo da estrada (Figura 20 A). No estágio dois a abertura de uma trilha evolui para uma estrada de terra (Figura 20 B), onde os 7 m das medidas regulamentares são considerados. No estágio seguinte (Figura 20 C) a estrada teve seu fluxo aumentado ganhando importância na ligação dos eixos. O consequente asfaltamento exige práticas de engenharia e regras institucionais. Consolidam-se os 7 m da estrada, 5 m

para uso do acostamento, e 28 m da faixa de domínio. Além da estrada, há ocupação das faixas de domínio contíguas à margem da estrada. Na área de estudo é comum se detectar a situação pela implantação de torres de transmissão de energia elétrica da CHESF (Figura 20 D). Por fim no quinto estágio (Figura 20 E), quando se iniciam as instalações de estruturas físicas como restaurantes, hotéis, borracharias, redes elétricas, torres de comunicação, pequenos negócios, e setores que alojam os serviços de abastecimentos e suporte técnico automotivo, reduzindo a área verde e, fazendo surgir cidades e concretizando o efeito estrada.

O efeito estrada torna-se desse modo um conceito unificador e abrangente, uma vez que considera o processo de fragmentação, o efeito de borda, a ocupação do solo pela estrada, a inserção das estruturas, as redes dos mais diversos tipos, na forma de impactos ambientais. Assim, essa conceituação faz avançar a idéia de que esses processos não são dissociados como vinha sendo descrito na literatura da Ecologia da Paisagem.

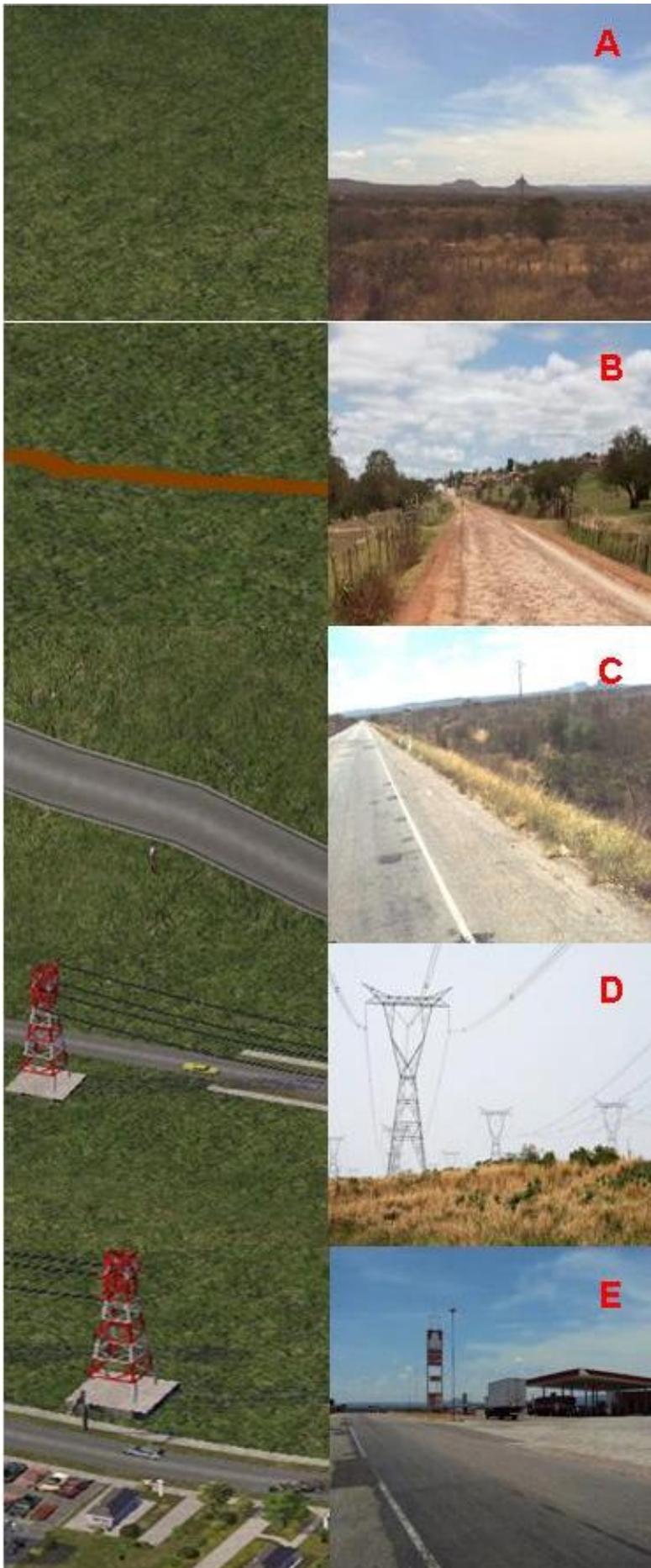


Figura 20: Evolução de uma estrada em diferentes estágios.

(A) representação de uma situação em que a vegetação esta intacta. Nessa condição não há o efeito estrada. Exemplo, os testemunhos na área do Parque Nacional do Catimbau com inserção de redes antecedendo o efeito estrada. Proximidades de Arcoverde.

(B) estágio onde a trilha evolui para uma estrada de terra os primeiros sete metros do efeito estrada são assegurados. Exemplo a estrada vicinal do Catimbau em Buique – PE.

(C) o asfaltamento da estrada, o acostamento, e a faixa de domínio ampliam o efeito estrada, consumido 40 metros de solo. Exemplo margem da BR 232 nas proximidades do limites do Parque Nacional do Catimbau.

(D) da ocupação da faixa de domínio por torres de energia elétrica. Situação real na BR 232 nas proximidades do município de Tacaimbó-PE.

(E) representação esquemática do estágio final. Exemplo um posto de gasolina nas proximidades da BR 232 no distrito de Cruzeiro do Nordeste do município de Sertânia-PE.

(Autor: Natalício Melo Rodrigues, 2010).

5.2 O efeito estrada nos Parques Nacionais (PN) e em suas zonas de amortecimento (ZA)

Desde a década de 80 a inserção de estradas no Brasil tem sido regulamentada por normas da Política Nacional do Meio Ambiente através da Lei nº. 6.938/81, especificamente a Resolução 001/86 do CONAMA, que nos incisos I e II que no segundo determina: *Dependerá da elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental – RIMA – a serem submetidos à licenciamento de atividades modificadoras de meio ambiente, tais como: I- Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento; II- Ferrovias;(…)*

Entretanto, ainda não há uma legislação específica que regula especificamente a forma de inserção de uma estrada em um parque ou em sua zona de amortecimento. Hoje dos 52 PN brasileiros, 41 têm relação direta com estradas. Entretanto, mesmos após a resolução CONAMA 001/86, outros 13 foram criados com estradas.

Foi realizado um levantamento dos tipos de estradas desses Parques, o que permitiu uma análise que leva em conta a inserção das redes, o papel exercido pela estrada, tipo de estrada inserida no Parque, localização do efeito estrada e, identificação e quantidade de estradas inseridas. Assim, considerando o modelo do efeito estrada desenvolvido e aplicado à pesquisa, todos os PN estariam hipoteticamente submetidos ao efeito estrada, ora em sua ZA, ora no seu interior, inclusive o caso do PNC (Tabela 4), que é o único circundado por quatro estradas.

Tabela 4: Parques Nacionais brasileiros e o papel exercido pelas estradas e redes com base nos dados da literatura. EE (Efeito Estrada); ZA (Zona de Amortecimento).

PARQUE/ANO	REDES	FUNÇÃO	COBERTURA	EE	TIPO
01. Itatiaia (1937)	Rodoviária	Acesso	Pavimentada	ZA	Vicinal
02. Serra dos Órgãos (1939)	Rodoviária	Fragmentador	Pavimentada	Parque	BR 495
03. Iguaçu (1944)	Rodoviária Rodoviário	Limítrofe Fragmentador	Pavimentada Fechada	ZA	BR277 -
04. Ubajara (1959)	Rodoviária	Acesso	Pavimentada	ZA	Vicinal
05. Aparados da Serra (1959)	Rodoviária	Limítrofe	Pavimentada	ZA	SC 360
06. Caparaó (1961)	Rodoviária	Limítrofe	Terra	ZA	Vicinal
07. Emas (1961)	Rodoviária	Limítrofe Limítrofe Limítrofe	Não pavimentada Pavimentada	ZA ZA	Vicinal BR 359
08. Chapada Veadeiros (1961)	Rodoviária	Limítrofe	Pavimentada	ZA	GO 118
09. Sete Cidades (1961)	Ferrovária	Limítrofe	Desativada	ZA	-

	Rodoviária	Fragmentador	Terra	Parque	Vicinal
10. Tijuca (1961)	Rodoviária	Fragmentador	Pavimentada	Parque	Vicinal
11. São Joaquim (1961)	Rodoviária Rodoviário	Limítrofe Limítrofe	Terra Pavimentada	ZA ZA	Vicinal SC430
12. Monte Pascoal (1961)	Rodoviária	Acesso	Pavimentado	ZA	BA 001
13. Brasília (1961)	Rodoviária	Limítrofe	Pavimentada	Urbano	Via
14. Serra da Bocaina (1971)	Rodoviária	Acesso	Pavimentada	ZA	BR 101
15. Araguaia (1971)	Rodoviário	Acesso	Terra	ZA	Vicinal
16. Serra da Canastra (1971)	Rodoviária	Fragmentador	Terra	Parque	Vicinal
17. Amazônia (1974)	Rodoviária	Fragmentador	Terra	Parque	BR 230
18. Pico da Neblina (1979)	Hidroviário	Acesso	Rio	-	-
19. S. da Capivara	Rodoviária	Fragmentador	Pavimentada	Parque	BR 020
20. Serradas Confusões (1998)	Rodoviária	Acesso	Terra	ZA	Vicinal
21. Serra da Mocidade (1998)	Hidroviária	Não têm	Rio	-	-
22. Pau Brasil (1999)	Rodoviária	Acesso	Terra	ZA	Vicinal
23. Descobrimto (1999)	Rodoviária	Limítrofe	Terra	ZA	Vicinal
24. Pacaás Novos (1979)	Hidroviária	-	-	-	-
25. Cabo Orange (1980)	Hidroviário	-	-	-	-
26. Jaú (1980)	Hidroviária	Acesso	-	-	-
27. Lençóis Maranhenses (1981)	Rodoviária	Acesso	Terra	ZA	Vicinal
28. Pantanal (1981)	Hidroviária	Não têm	Rio	-	-
29. Abrolhos (1983)	Marítima	Não têm	Mar	-	-
30. Serra do Cipó (1984)	Rodoviária	Fragmentador	Terra	Parque	MG 010
31. Jericoacoara (1984)	Rodoviária	Fragmentador	Terra	Parque	Vicinal
32. Chapada Diamantina (1985)	Rodoviária	Fragmentador	Pavimentada	Parque	BA 142
33. Lagoa do Peixe (1986)	Rodoviária	Acesso	Pavimentada	ZA	BR 101
34. Fernando Noronha (1988)	Marítima	Não têm	Mar	-	-
35. Restinga Jurubatiba (1988)	Rodoviária	Acesso	Pavimentada	ZA	RJ 178

36. Sertão Veredas (1989)	Rodoviária	Fragmentador	Terra	Parque	Vicinal
37. Chapada dos Guimarães (1989)	Rodoviária	Fragmentador	Pavimentada	Parque	MT 351
38. Superagui (1989)	Rodoviária	Acesso	Terra	ZA	Vicinal
39. Serra do Divisor (1989)	Hidroviária	Não tem	-	-	-
40. Viruá (1989)	Hidroviária	Não tem	-	-	-
41. Monte Roraima (1989)	Rodoviária	Acesso	Terra	ZA	Vicinal
42. Serra Geral (1992)	Rodoviária	Limítrofe	Terra	ZA	SC 360
43. Ilha Grande (1997)	Rodoviária	Limítrofe	Pavimentada	ZA	Vicinal
44. Cavernas Peruaçu (1999)	Rodoviária	Fragmentador	Pavimentada	Parque	BR 135
45. Serra da Bodoquena (2000)	Rodoviária	Fragmentador	Pavimentada	Parque	MS 339
46. Saint Hilaire /Lange (2001)	Rodoviária	Limítrofe	Pavimentada	ZA	PR 508
47. Catimbau (2002)	Rodoviária Rodoviário Rodoviário Rodoviário	Limítrofe Limítrofe Limítrofe Limítrofe	Pavimentada Pavimentada Pavimentada Terra	ZA ZA ZA ZA	BR 232 PE 370 PE270 Catimbau
48. Serra do Itajaí (2002)	Rodoviária	Acesso	Terra	ZA	Vicinal
49. Serra do Tumucumaque (2002)	Hidroviário	Não têm	Terra	-	-
50. Nascentes Rio Parnaíba (2002)	Rodoviária	Acesso	Terra	ZA	Vicinal
51. Sempre Vivas (2002)	Rodoviária	Acesso	Terra	ZA	Vicinal
52. Pontões do Capixaba (2002)	Rodoviária	Acesso	Pavimentada	ZA	Vicinal

Fonte: Guia Quatro Rodas (2008); Guia Philips dos Parques Nacionais (2003).
(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

Analisando-se a categoria redes constantes na Tabela 6, percebe-se que dos 52 PN criados nos últimos 65 anos, 41 são servidos por redes rodoviárias, constituindo 79% dos Parques. A rede viária hidrográfica se faz presente em nove deles, correspondendo 17% do quantitativo, sendo que sete destes estão localizados na região norte do país e fazem parte da política de preservação do bioma Amazônia. Por fim, apenas dois (4%) são acessados por mar; são os Parques ilha: o marinho de Abrolhos e o de Fernando Noronha (Figura 21).

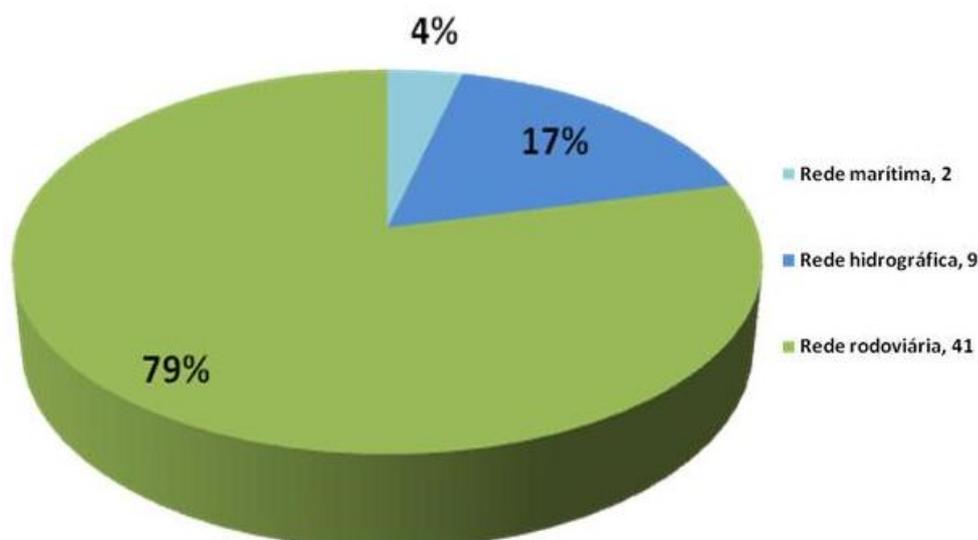


Figura 21: Redes viárias nos Parques Nacionais brasileiros

Fonte: Guia Quatro Rodas (2008); Guia Philips dos Parques Nacionais (2003)

Comparando as formas de inserção das redes nos Parques (Figura 22) com a distribuição da matriz de transporte no Brasil (Figura 22), percebe-se um nítido domínio da rede rodoviária como principal meio de transporte, equivalendo a 58%. Essa concentração da rede rodoviária em 79% dos Parques assemelha-se à desequilibrada rede do país. Considera-se um equilíbrio quando a distribuição é cerca de um terço para cada setor. Assim, o rodoviário seria para pequenas distâncias; o ferroviário, para médias e longas; e o hidroviário, para grandes cargas não perecíveis e longas distâncias.

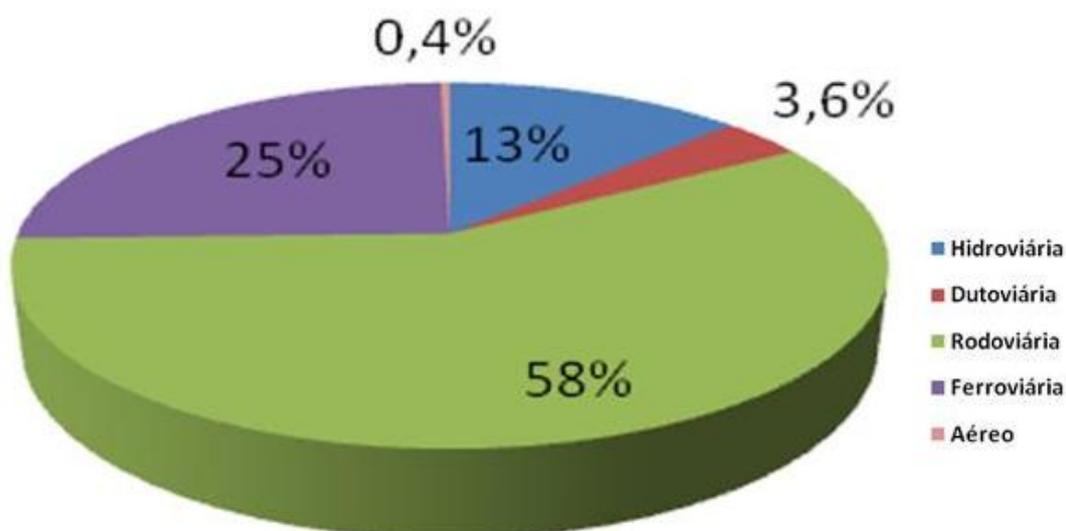


Figura 22. A distribuição da matriz do transporte no Brasil mostra o predomínio do transporte rodoviário, situação que se refletiu na política de parques.

Fonte: ANT (2005) com modificações do autor.

Na Tabela 4, observa-se que a função exercida pelas estradas inseridas em um Parque ou sua ZA se dá de três formas. A primeira em que a estrada exerce o papel de **elemento fragmentador**, quando a estrada penetra em um Parque e o fragmenta em duas ou mais unidades, propiciando as condições para se estabelecer o efeito estrada. Na segunda categoria a estrada funciona como **componente do limite**; refere-se a qualquer situação em que o marco referencial dos limites do Parque é a estrada. Por fim, a terceira categoria em que a estrada apenas permite o **acesso** à unidade protegida. Todas elas podem se estabelecer na ZA e no Parque.

Analisando a figura 23, observa-se que 60% dos Parques brasileiros têm relação direta com o efeito estrada. Em 13 deles as estradas agem como elemento fragmentador (31%), e, em 12 ou 29%, as estradas aparecem dentro da ZA e próximas a seus limites. Por fim, em apenas 17 as estradas exercem o papel de acesso à unidade de proteção ambiental. Esta última condição deixa o Parque menos exposto ao *efeito estrada*, quando comparada com a situação dos Parques que possuem estradas em seu interior, ou em seus limites.

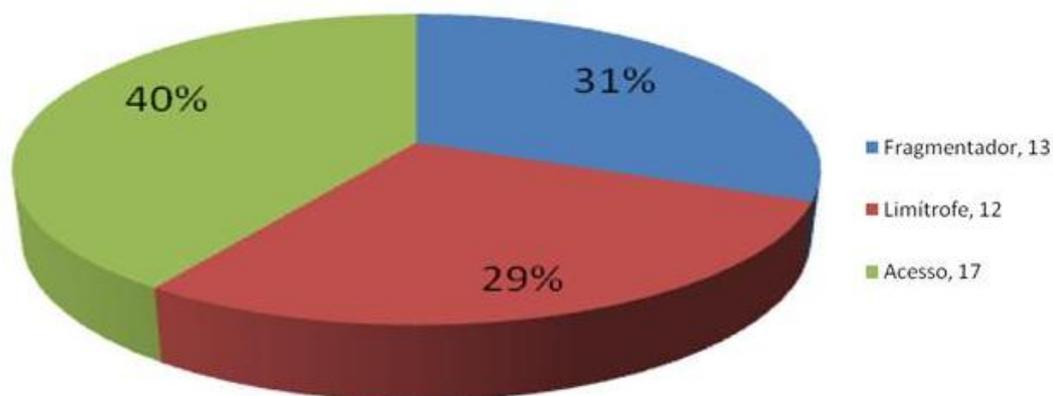


Figura 23: Uso e forma de ação das estradas nos Parques Nacionais brasileiros
Fonte: Guia Quatro Rodas (2008); Guia Philips dos Parques Nacionais (2003).
(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

Em relação aos tipos de estrada que penetram ou fazem limites com os PN, ou com suas ZA (Tabela 4), há um ligeiro domínio de estradas pavimentadas. Esse tipo de via se faz presente em 17 estradas dos PN brasileiros, o que corresponde a 53%. Por sua vez, as estradas não pavimentadas correspondem a 44% e são presentes em 14 Parques. Apenas a estrada do Colono, localizada no Parque Nacional do Iguaçu, foi considerada fechada até o momento (Figura 24). O efeito estrada tende a variar nessa tipologia, uma vez que a estrada de terra se diferencia nas formas de danos ambientais de uma estrada com (Forman e Richard, 2002)

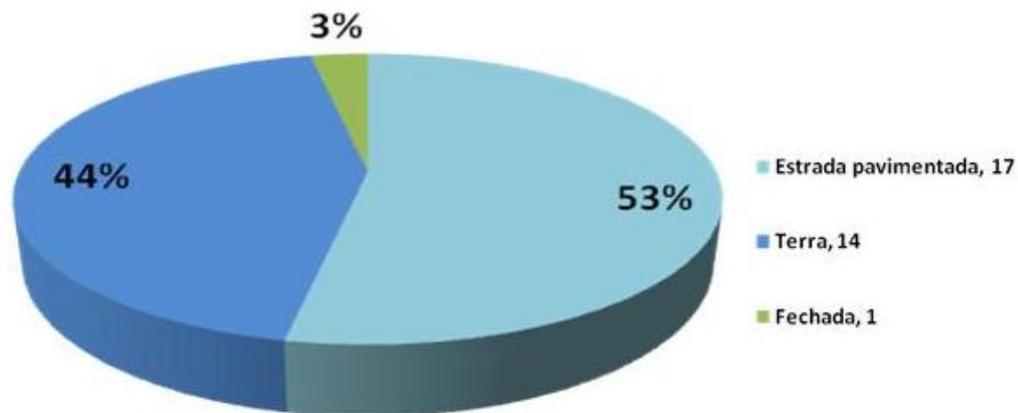


Figura 24: Tipos de estradas ou de acesso aos Parques Nacionais brasileiros.

Fonte: Guia Quatro Rodas (2008); Guia Philips dos Parques Nacionais (2003).

(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

As duas áreas que fazem parte de um Parque são: a zona de amortecimento e área protegida. Esta é a principal e sempre maior que a ZA. Esta pode ser definida como a porção adjacente à área protegida, na qual o uso da terra é parcialmente restringido para incorporar uma área a mais à proteção dos Parques, ou de outro tipo de unidade de proteção.

A inserção de estradas em área de Parque, ou em sua ZA (Tabela 4), provoca o efeito estrada em 41 PN, mas é nas áreas pertinentes à ZA que se tem maior probabilidade deste efeito atingindo cerca de 30 delas, ou 68% de suas ZA. Quanto às áreas protegidas dos Parques onde a restrição da ação humana é maior, o quantitativo diminui para 32% ou 13 Parques (Figura 25). Dos 41 parques acessados por rodovia, 37 têm pelo menos uma estrada em seu interior, em seus limites, ou em sua ZA. Esses representam 90% dos Parques que possuem estrada. Com duas estradas há apenas três Parques; o do Iguaçu, das Emas e o de São Joaquim, constituindo 13%. O caso mais grave é o do PNC que é circundado por quatro estradas, que atingem diretamente sua ZA; uma delas e a vicinal do Catimbau, usada como limítrofe do Parque (Figura 26).

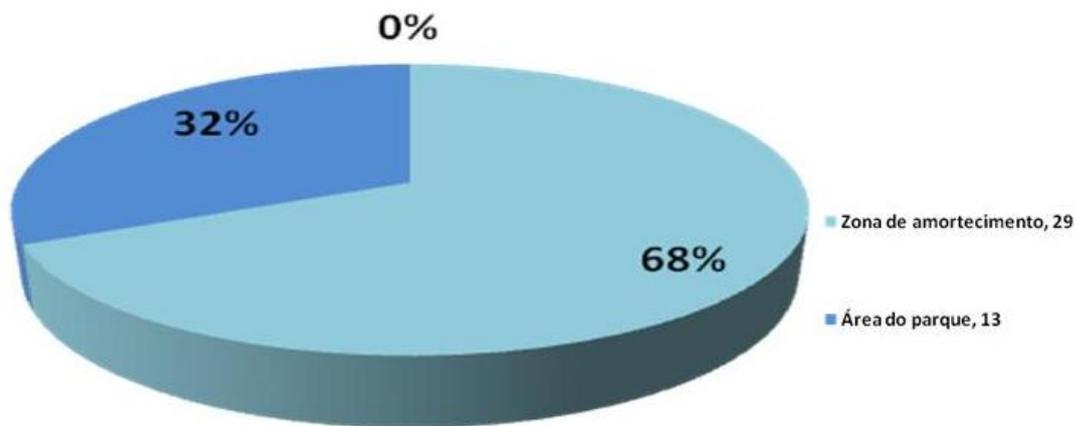


Figura 25: Percentual da inserção de estradas nos Parques Nacionais brasileiros ou em suas Zonas de Amortecimento.

Fonte: Guia Quatro Rodas (2008); Guia Philips dos Parques Nacionais (2003).
(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

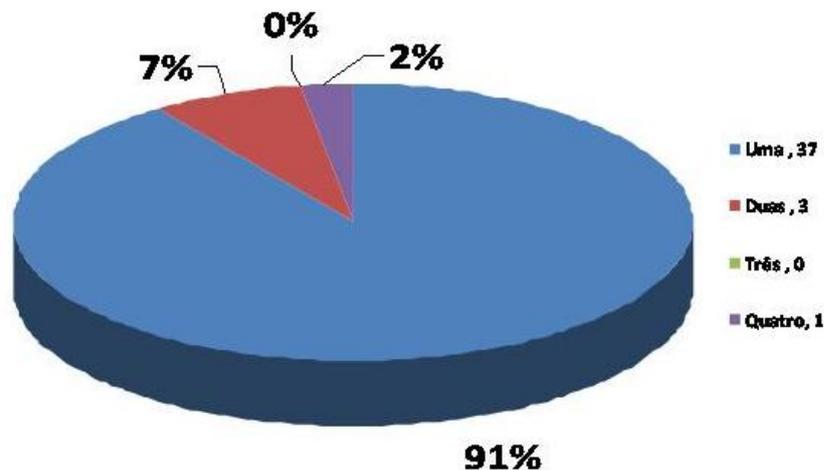


Figura 26: Números relativos e percentuais das estradas dos Parques Nacionais brasileiros

Fonte: Guia Quatro Rodas (2008); Guia Philips dos Parques Nacionais (2003).
(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009)

5.3 O Efeito estrada na rede rodoviária inserida na zona de amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau (PNC)

A rede rodoviária inserida na ZA do PNC encontra-se dividida em duas categorias. Uma rede externa, composta de rodovias federais e estaduais pavimentadas, tem objetivo conectar as unidades municipais e vilas. Essas atendem aos municípios de Tupanatinga, Buíque, Cruzeiro do Nordeste, Ibimirim e Arcoverde. Outra rede, menor e interna, é composta de estradas não pavimentadas ou vicinais, que têm função secundária de conectar apenas a sede municipal com as vilas e as áreas de produção rural. A rede externa, de maior fluxo, é formada por quatro principais rodovias pavimentadas, as estaduais PE 270 e PE 360 e; as federais BR 232 e BR110. Quanto à localização desse eixo, pode-se dividir em dois setores, um ao norte da ZA do Parque, cujo referencial é o município de Arcoverde, onde se destaca a BR-232; e a BR 110 que conecta Cruzeiro do Nordeste e Ibimirim. Ao sul as rodovias PE 270

e PE 360, próximas aos municípios de Buíque e Ibimirim. Duas vicinais, a do Catimbau e a do Carneiro complementam a rede. Por sua vez, a rodovia BR 232 ao Nordeste atinge ZA em 12 km, e outros 12 constituem o limite do Parque. A PE 270, ao Sul do Parque, que liga os municípios Buíque, Tupanatinga e Arcoverde, tem 26 km do seu trajeto dentro da ZA do Parque. A vicinal do Carneiro, distante 15 km de Arcoverde, ao permitir o acesso ao sítio arqueológico do Alcobaça, secciona a ZA. Por fim, a vicinal do Catimbau que acessa a entrada principal do Parque, percorre seu limite bem como da ZA (Figura 27).

Quanto ao efeito estrada ocasionado pela BR-232, principal rodovia asfaltada desse entroncamento, de maior fluxo, por onde se direciona à capital pernambucana, os impactos ocorrem na ZA no segmento que conecta o município de Arcoverde a Cruzeiro do Nordeste, perfazendo um total de 24 km, dos quais vinte dos quais se inserem na ZA e doze relacionam-se diretamente com os limites do Parque (Figura 28).

Por sua vez, a BR-110 que conecta o município de Ibimirim a Cruzeiro do Nordeste, com 53 km de extensão, possui forte relação com o Parque e sua ZA. Dessa rodovia, 34 km se inserem dentro da ZA, outros 25 km fazem limite com o Parque (Figura 29).



Figura 27: Principais rodovias de acesso (federais, estaduais e vicinais) ao Parque Nacional do Catimbau e sua forma de inserção no Parque e sua Zona de Amortecimento.

Fonte: Guia Quatro Rodas (2008), com modificações.



Figura 28: Rodovia federal BR 232, uma das principais da região, penetra na Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau entre os municípios de Cruzeiro do Nordeste e Arcoverde –PE. À direita observa-se a serra dos Pereiros onde a mata ainda se encontra preservada; à esquerda um extenso pediplano. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).



Figura 29: BR-110 que conecta o município de Ibimirim a Cruzeiro do Nordeste e possui forte relação com o Parque Nacional do Catimbau e sua Zona de Amortecimento. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

Quanto às estaduais, a PE 270 (Figura 30) é uma das mais importantes do Parque, uma vez que constitui o eixo principal de sua ligação com os municípios de Buíque e Arcoverde. Com 56 km de extensão, faz conexão com os municípios de Arcoverde; é, também, a principal via de acesso ao Parque. Essa rodovia conecta-se com a BR 232.



Figura 30: Rodovia PE 270, principal eixo de ligação ao Parque Nacional do Catimbau e com os municípios de Buíque e Arcoverde.
(Auto: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

Os impactos do efeito estrada apontados na literatura foram observados em maior quantidade nas rodovias pavimentadas, porém nas não pavimentadas os impactos eles também ocorrem.

O quadro 3 apresenta um *checklist* de parâmetros indicadores de impactos gerados pela inserção de uma estrada (FORMAN *et al.*, 2003), identificados nas vias estaduais, federais e vicinais do PNC e sua ZA. As rodovias pavimentadas PE 270, PE-290, e BR-232, apresentaram impactos ambientais em quase todos os parâmetros apontados na literatura, constituído o que denominou-se de efeito estrada. (Formam *et al.*, 2003).

As duas vicinais de terra se sobressaem por permitir acesso aos principais pontos turísticos do PNC. A vicinal do Carneiro, com 7 km de comprimento e sete de largura, permitindo acesso ao Sítio Alcobaça (Figura 31) e a vicinal do Catimbau (Figura 32) com a mesma largura e uma extensão de 16 860 m, dos quais 6 374 m percorrem seus limites, e cerca 3.505 m transpõem a área interna do Parque. Constitui a principal via de acesso à UC e eixo de ligação com a Vila do Catimbau e sede do município de Buíque – PE (Figura 32). Entretanto, convém destacar a importância das agrovias localizadas principalmente no setor sul do Parque, que conectam os sítios, fazendas, escolas rurais e outras unidades produtivas, o que amplia consideravelmente a fragmentação do ecossistema e, por sua utilização, alto impacto sobre a biota.



Figura 31: Vicinal do Carneiro no município de Buíque (PE), estrada secundária com 7 km que fragmenta a Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau e permite acesso ao Sítio arqueológico do Alcobaça (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).



Figura 32: Vicinal do Catimbau com mais de 16 km de extensão, dos quais 6 374 m percorrem os limites do Parque Nacional do Catimbau, e cerca 3.505 m transpõem sua área interna, fragmenta a ZA constituindo a principal via de acesso à UC e eixo de ligação com a Vila do Catimbau e sede do município de Buíque – PE (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

Quadro 3: Checklist de formas de impacto de estradas sobre o ambiente, segundo Formam (2003) e a ocorrência desses impactos sobre rodovias do Parque Nacional do Catimbau e Zona de Amortecimento.

Vias federal e estadual PE 270 – PE 290 – BR 232	
Formas de Impactos	Ocorrência
Impermeabilização do solo	Sim
Absorção de água	Não
Lançamento de poeira	Não
Atropelamento de fauna	Sim
Interferência na flora	Sim
Modificação na rede hidrográfica	Sim
Erosão superficial	Não
Efeito de borda	Sim
Fragmentação	Sim
Vicinal do Catimbau - Vicinal do Carneiro	
Formas de Impactos	Ocorrência
Impermeabilização do solo	Não
Absorção de água	Sim
Lançamento de poeira	Sim
Atropelamento de fauna	Sim
Interferência na flora	Sim
Modificação na rede hidrográfica	Sim
Erosão superficial	Sim
Efeito de borda	Sim
Fragmentação	Sim

(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009)

A figura 33 demonstra a delimitação da Za do PNC, e as linhas vermelhas elucidam o percurso das rodovias nela inseridas. Percebe-se ainda, que a inserção dessa rede rodoviária fracionou a ZA do em sete fragmentos, seccionando a Caatinga ampliando o impacto ambiental, caracterizando o que se convencionou de efeito estrada.

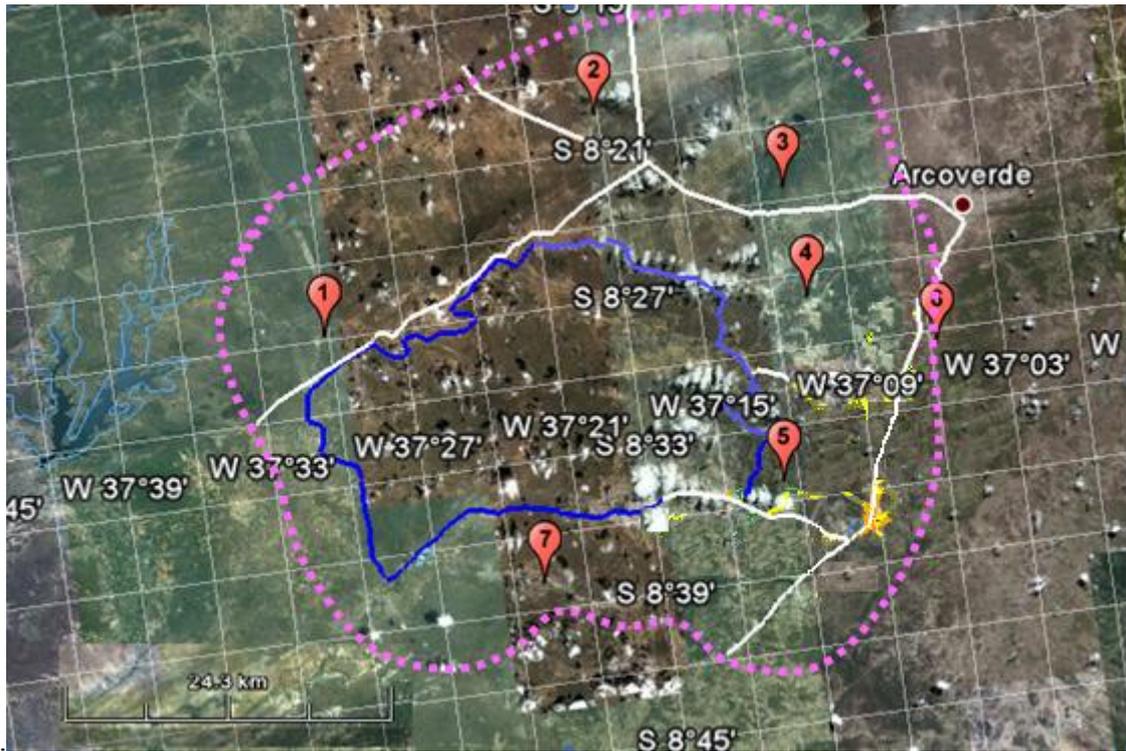


Figura 33: Limite teórico da Zona de Amortecimento (Polígono pontilhada rosa); o do Parque Nacional do Catimbau (Polígono azul), a inserção das estradas federais, estaduais, e vicinais (Linhas brancas); as agrovias (Linhas amarelas cheias). Os marcadores com numeração localiza os sete fragmentos de habitat.

Fonte: Imagem ©GeoEye /© Cens Spot Imagem 2011. Modificado.

As conseqüências da fragmentação pelo efeito estrada na ZA do PNC podem ser observadas na Tabela 5. Inicialmente observa-se que a área da ZA ocupa 1.495,1 km², e encontra-se dividida em dois setores (Norte e Sul). O setor Norte encontra-se dividido em 3 fragmentos, e o Sul em 4. A extensão linear total nos dois setores oriundos da inserção da estrada e presentes nos sete fragmentos ocupa uma extensão de 166 km.

Quando se pondera sobre o efeito estrada que leva em consideração a largura ocupada, ou área de consumo de solo em decorrência da inserção da estrada, a área da ZA tende a diminuir. A figura 34 mostra a simulação do consumo de solo nos diferentes estágios de progresso do efeito estrada, quando associado à motivação econômica. Os quadros representam área de 10 mil metros quadrados. No primeiro quadro a estrada de terra consome 500 m² de área verde; no segundo momento com o acréscimo da medida oficial de 7 m mais o acostamento que é de 5 m, totalizando 12 m, consome uma área verde de 1200 m²; no terceiro quadro quando considera a inserção da faixa de domínio que ocupa 28 m, tem-se um consumo de área verde ampliado em 2800 m². Por fim, no efeito estrada máximo com sua duplicação a

área ocupada por ele é de 4700 m², o que reduz a área verde em 4,7% para cada 10 mil metros quadrados.

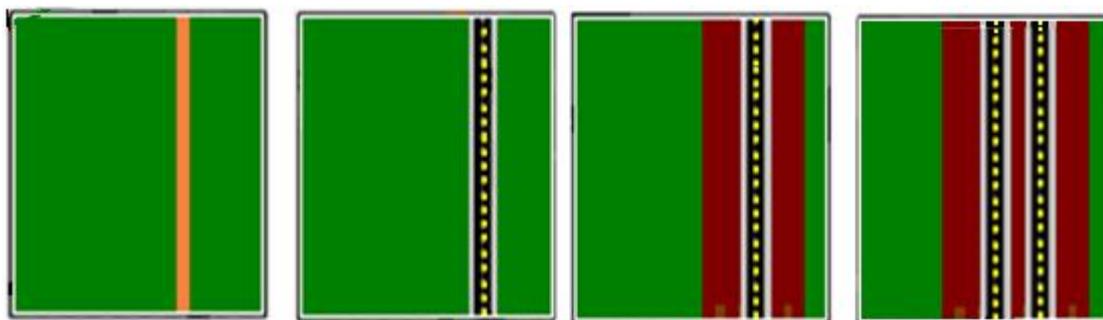


Figura 34: Modelo de mensuração do efeito estrada e consumo de área verde. Os quadros em cores alternadas preta e branca é a escala de aferição, todos os quadrados equivalem a 5 m. No primeiro quadro a estrada de terra em cor laranja ocupa na escala os primeiros 5 m; no segundo, a estrada asfaltada ocupa 7 metros e faixa de acostamento na cor cinza 5 m, totalizando 12 m, no terceiro quadro há inserção da faixa de domínio ocupando um total de 40 m, por fim o efeito máximo teórico de 47 m, porém na prática pode atingir até 50 m, em razão dos obstáculos centrais que vão dividir a rodovia. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009)

Em termos de consumo de área por efeito estrada na ZA do PNC, observa-se que a extensão total linear das estradas alcançou 166 km. Inicialmente calcula-se o acréscimo dos sete metros ocupados pelas estradas, o que resulta em um consumo de solo de 11,62 km²; por sua vez a faixa acostamento consome uma área verde de 7,25 km² e, por fim, a ocupação da faixa de domínio que consome 40,60 km². Desse modo, o efeito estrada alcança 59,47 km² (Tabela 5).

Tabela 5: Extensão linear de rodovias e consumo do solo na Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau

DADOS DA REDE RODOVIÁRIA DA ZA					EFEITO ESTRADA*			
Área ZA (km ²)	Eixo	Fragmento	Estradas	Extensão (km)	Estrada 7m (km ²)	Acostamento 5m (km ²)	Faixa de domínio 28m (km ²)	Total Km ²
1.495,1	Norte	03	BR 232	36	2,52	1,80	10,08	14,40
			PE 360	53	3,71	2,65	14,84	21,20
	Sul	04	Vc. Catimbau	14	0,98	0	0	0,98
			Vc. Carneiro	7	0,49	0	0	0,49
			PE 370	56	3,92	2,80	15,68	22,40
TOTAL	02	07	05	166	11,62	7,25	40,60	59,47

(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009)

Partindo desse pressuposto a área da ZA, estimada em 1.495,10 km², subtraída pela perda causada pelo efeito estrada (59,47 km²), seria reduzida para 1.435,4 km², o que corresponde a uma redução de 4,2% (Tabela 5).

No caso do PNC o cálculo de perda de área verde na ZA em campo apontou que as vicinais do Catimbau e Carneiro possuem de 6,5 a 7 m de largura. Por sua vez, as rodovias BR 232, PE 270, e PE 360, que foram construídas sobre as normas do DNIT, têm suas medidas conforme mencionado anteriormente.

Entretanto, nesse cálculo observaram-se apenas os dados do DNIT. Em campo os estudos na ZA do PNC apontaram para valores que variaram de um a cinco mil metros. São valores que consideram apenas as estradas principais situadas na ZA do Parque. Porém, quando se considera a inserção das estradas secundárias, também chamadas de estradas rurais ou agrovias locais, o efeito estrada na ZA tende a reduzir ainda mais a área de Caatinga. São estradas sob gestão municipal, nem sempre pavimentadas e de pista única, com largura de no máximo 7 m, e de tráfego reduzido; quase sempre destinam-se a canalizar a produção das cidades de Buíque, Tupanatinga, Ibimirim com as áreas produtivas da zona rurais da região.

Embora secundárias, tornam-se prenúncios de ampliação do impacto, sobre a paisagem natural. Santos (1998), quando que a paisagem natural é coisa do passado, modalidade que hoje não existe mais, mesmo que fisicamente ainda não sido impactado pela ação humana, pois é objeto de suas preocupações e de intenções econômicas ou políticas.

Por isso, também se considerou o efeito estrada dessas vias. Observa-se a concentração de rodovias secundárias no setor sul (Figura 35), o que se justifica devido a aos fatores ligados à matriz agropecuária em virtude do solo mais fértil e de condições de umidade bastante superiores ao setor Norte. Como consequência, houve nesse setor um aumento da fragmentação por inserção de estradas.

A fragmentação no setor Norte praticamente permaneceu a mesma, embora tenha havido inserção de duas pequenas vias que não foram consideradas nesta pesquisa, uma vez que não servia a fluxos de mercadorias e serviços, apenas são utilizadas para acesso ao açude de Poço da Cruz. O acréscimo de as rodovias secundárias ou agrovias aumentou em extensão linear de 363 km e, o efeito estrada ocupa uma área verde de 74,03 km² reduzindo a ZA de 1.495,1 km² para 1.421,07 km².

Quando comparada a figura 35 com a figura 33, observa-se que levando-se em consideração as estradas oficiais, registram-se apenas 7 fragmentos. No entanto, quando se inserem as agrovias do setor sul, o número de fragmentos passa para 69 (Tabela 6), incluindo 4 vias do setor norte.

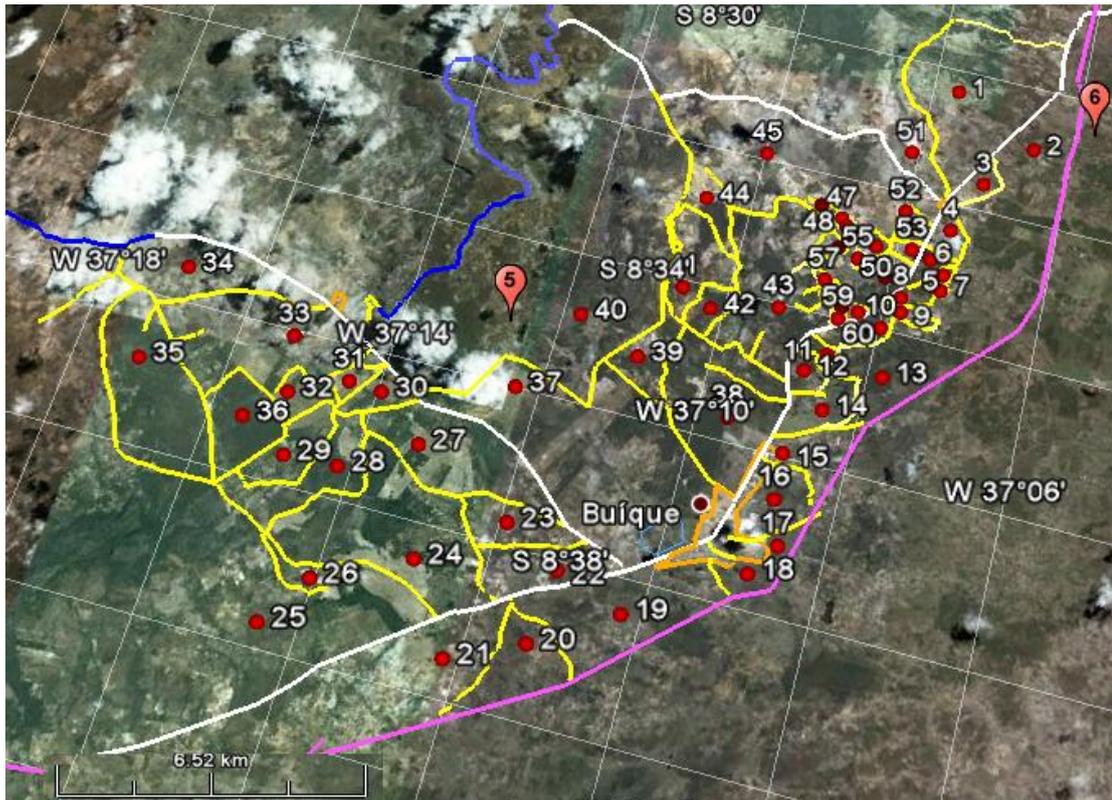


Figura 35 Fragmentação do bioma Caatinga por inserção de agrovias no setor sul. A linha em cor branca indica as rodovias PE -270, e vicinal Carneiro e Vicinal Catimbau. As linhas em cor azul o limite do PNC, as agrovias em cor amarela. O número com marcadores vermelhos indica os 60 fragmentos oriundos do efeito estrada. Fonte: Image©GeoEye /© Cens Spot Image 2011. Modificada. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

Portanto, como consequência da inserção das estradas secundárias, o número de fragmentos foi majorado para 69, representando um crescimento em relação aos dados anteriores que era de 7 (Tabela 5). O efeito estrada, por sua vez, aumentou de 59,47 km², para 74,03 km², representando um aumento de 24,5%. Assim, a ZA que tem 1.495,1 km², passa a ter apenas 1.421,07 km² de área sem efeito estrada, uma redução de 5,25% (Tabela 8).

Tabela 6: Número de fragmentos de Caatinga em função da inserção de rodovias estaduais, federais e agrovias na Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau

DADOS DA REDE RODOVIÁRIA DA ZA (Incluindo as vias secundárias)					EFEITO ESTRADA*			
Área ZA (km ²)	Eixo	Fragmentos	Estrada	Extensão (km)	Estrada 7m (km ²)	Acostamento 5m (km ²)	Faixa de domínio 28m (km ²)	Total Km ²
	Norte	07	BR 232	36	2,52	1,80	10,08	14,4

1.495,1	Sul	04	PE 360	53	3,71	2,65	14,84	21,2
			Vc.Catimbau	14	0,98	0	0	0,98
			Vc.Carneiro	7	0,49	0	0	0,49
		65	PE 370	56	3,92	2,80	15,68	22,4
TOTAL	02	69	05	363	26,18	7,25	40,6	74,03

(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

5.4 Descrição das mudanças no mosaico espacial com uso de imagens Landsat em composição R/G/B, da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau, em escala comparativa de 2001 e 2007

Em função da grande extensão das estradas inseridas na ZA, optou-se inicialmente analisá-la através de imagem de satélite na composição RGB e, desse modo, localizar as áreas que apresentaram modificação na escala temporal (2000 a 2007), para posterior averiguação em campo da possível relação com o efeito estrada.

As figuras 36 e 37 mostram as condições espaciais da cena 215/66, formato de composição RGB ou “falsa cor”, que elucidam a ZA do PNC, área onde se insere a rede rodoviária de acesso à UC. A feição considerada ponderou as mudanças na vegetação em escala comparativa, abrangendo dois momentos de tempo cronológico distintos. Um primeiro que se inicia em maio de 2001 (ano da criação do parque), e outro que se estende até o período chuvoso do mês de julho de 2007.

Comparando essas imagens, observam-se mudanças expressivas de padrão na distribuição das cores, condição que aponta importantes indícios de alterações na densidade da cobertura vegetal na ZA. Na imagem de 2001, os tons em violeta e verde, apresentam um padrão em que sua principal característica é alternância da seqüência das cores das manchas. Assim, a mancha em tons violeta é sempre seguida de um tom verde. Esse molde praticamente circunda toda a imagem (Figura 36).

Em 2007 (Figura 37), percebe-se nitidamente, que o antigo padrão da distribuição das manchas foi modificado em sua totalidade. Uma primeira mudança pode ser observada nas manchas de cor violeta e verde; ambas aparecem reunidas em dois grupos distintos; a mancha violeta concentra-se quase totalmente ao norte da ZA, enquanto que a verde encontra-se aglomerada mais ao sul.

Essas alterações nos tamanhos das manchas de cor violeta e verde, bem como as alterações de sua distribuição espacial, apontam mudanças de assinatura espectral de ordem espacial na vegetação, refletindo em uma nova disposição do mosaico paisagístico. Esses locais, onde se estabeleceram as mudanças, constituem-se amostragens, selecionadas para

estudos mais detalhados, para compreender os motivos das alterações e a possível relação com o efeito estrada. Para atingir esse objetivo foi preciso estabelecer o uso de um índice de vegetação, optando-se pelo levantamento espectral do índice de vegetação da diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index-NDVI*).

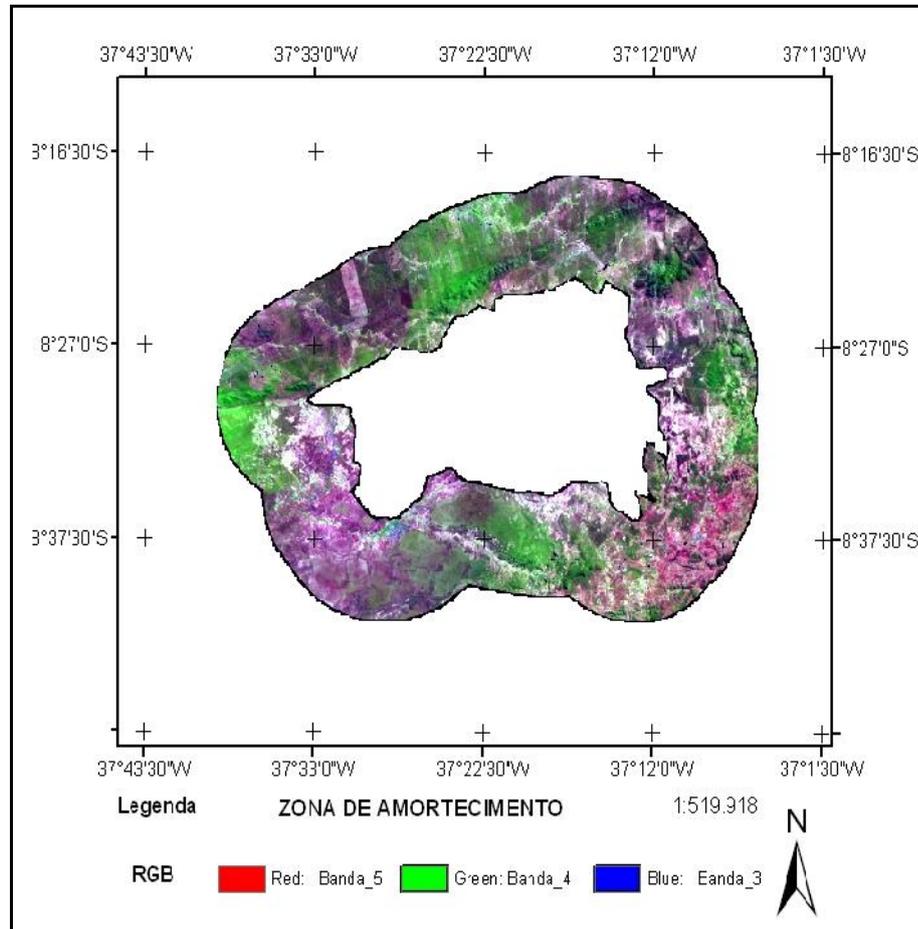


Figura 36: Composição 5/4/3 R/G/B da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau em 2011, demonstrando a cobertura vegetal da ZA no ano de 2001. A cor verde representa maior densidade de vegetação.

Fonte: Imagem Landsat 5 TM. Cena 215/66 de 15/05/ 2001. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

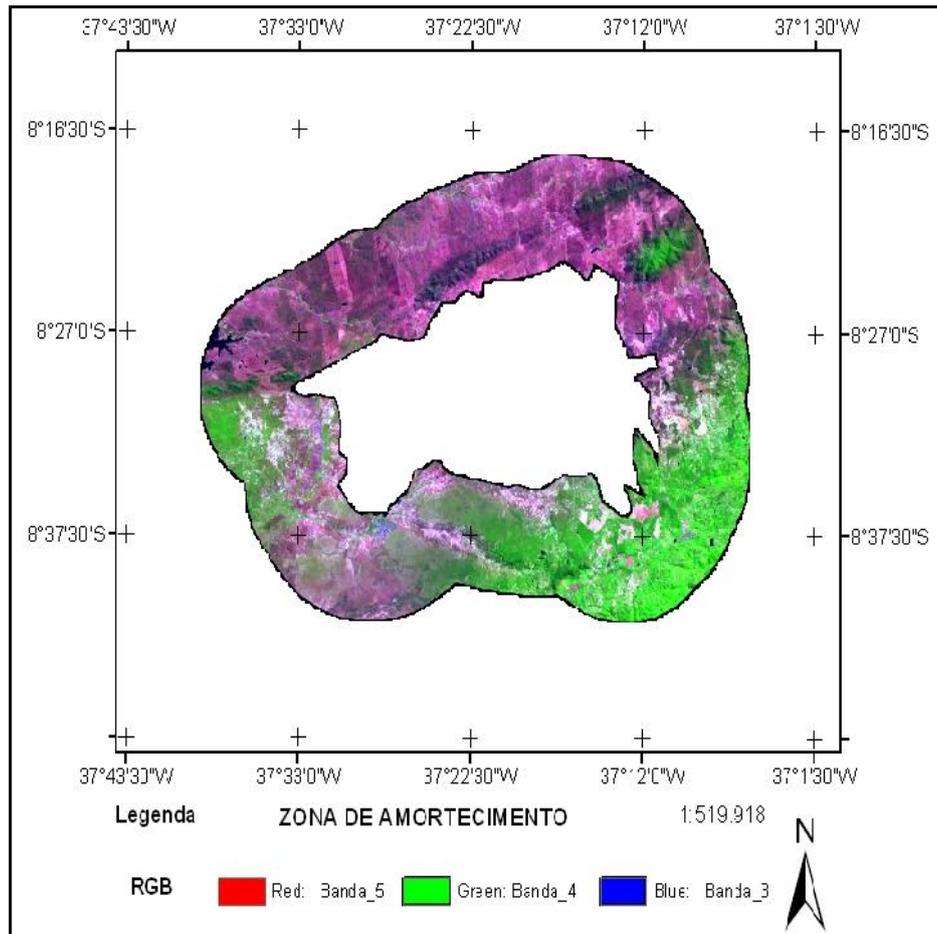


Figura 37: Composição 5/4/3 R/G/B da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau em 2001, onde é possível observar padrões de mudança na vegetação. A cor verde representa maior densidade de vegetação.

Fonte: Imagem Landsat 5 TM. Cena 215/66 de 19/07/ 2007. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

5.5 Descrição da assinatura espectral espacial de NDVI da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau do ano de 2001 e sua relação com o efeito estrada

O levantamento espectral de NDVI encontra-se dividido em duas etapas: a primeira, de caráter descritivo e técnico, onde se elucida apenas a localização das manchas e seus respectivos intervalos de NDVI em 2001, na ZA do Parque Nacional do Catimbau (Figura 38). Uma segunda etapa, centralizada na situação climática do dia 19/07/ 2007, na qual se detectaram mudanças na assinatura espectral. Aclaram-se ainda as possíveis razões da nova distribuição espacial da vegetação em NDVI de 2007 e expressas nos mapas em composições RGB.

Em 2001 (Figura 38) o NDVI da ZA, foi gerado de uma imagem do satélite Landsat 5, com data de 15/5/2001, mês em que ocorrem grandes mudanças devido às oscilações pluviométricas na região, mas com significativa influência na vegetação, tendo em vista que a

Caatinga responde rapidamente a essas variações de umidade (HOLBEN,1986), o que vem influenciar consideravelmente no intervalos dos valores de NDVI.

Observa-se primeiramente, uma distribuição em sete categorias de cores, que se difundem espacialmente na forma de manchas. Estas, em colorações diferenciadas, representam índices de NDVI, ou o valor atribuído ao quantitativo de energia emitida pela vegetação e captada no sensor remoto. Cada cor possui intervalos de valor específicos, uma vez que diferentes tipos de vegetal emitem radiações diferenciadas. Nesse caso tem-se: a cor rosa apresentando valores inferiores a 0,10; a cor azul intervalo $0,11 < 0,20$; o ciano entre $0,21 < 0,30$; a cor verde de $0,31 < 0,40$; a amarela $0,41 < 0,50$; a laranja entre $0,51 < 0,60$ e, por fim, a cor marrom que apresentou valor maior $> 0,70$.

A forma como se distribuem essas manchas, respondem a uma lógica advinda do comportamento da vegetação no dia, influenciados por diversos fatores, entre os quais se destacam o solo, clima, relevo, só para citar alguns dos mais significativos. As manchas de cor rosa ($< 0,10$) e a azul ($0,11 < 0,20$), representando os mais baixos índices de NDVI, disseminavam-se no entorno do limite do Parque em cor branca, entre as longitudes $37^{\circ}33'0''$ e $37^{\circ}12'00''W$, e latitudes $8^{\circ}20'00''$ a $8^{\circ}37'00''S$.

A mancha maior em cor ciano concentrada a $37^{\circ}33'0''W$, representa os sítios Salinas, Frutuoso, Belizário e Trocado. Seguindo no sentido leste, agora na altura da longitude $37^{\circ}22'00''W$, duas outras manchas da mesma cor e menores também se destacam. A primeira é uma área denominada sitio Quiri d'Alho, e a outra, menor à esquerda é o aglomerado urbano Vila do Catimbau, ambas ligadas pela estrada vicinal do Catimbau.

Outra mancha de verde e de maior espacialização representando os intervalos de NDVI $0,31 < 0,40$ se distribuiu espacialmente por toda ZA que contorna o PNC. Observa-se que sua espacialização ocupa uma área maior entre todas as manchas, e dissemina-se por cotas altimétricas que variam de 528-828m, onde predominam as formas de relevo de erosivas de terceiro ao quinto táxon, abrangendo os feições de caráter runeiformes, bordas de morros testemunhos, rebordas festonadas da chapada de São José ao norte, e os recortes cristalinos do Planalto da Borborema. O mesmo se pode dizer das manchas de cor amarela de intervalo $0,41 < 0,50$.

O conjunto formado pelos maiores valores de NDVI que variou de $0,51 < 0,70$, representado pelas manchas de cor laranja ($0,51 < 0,60$), e marrom ($> 0,70$), que tem sua distribuição pontual, pode ser explicado pelas maiores cotas altimétricas que vão de 637 a 1058m.

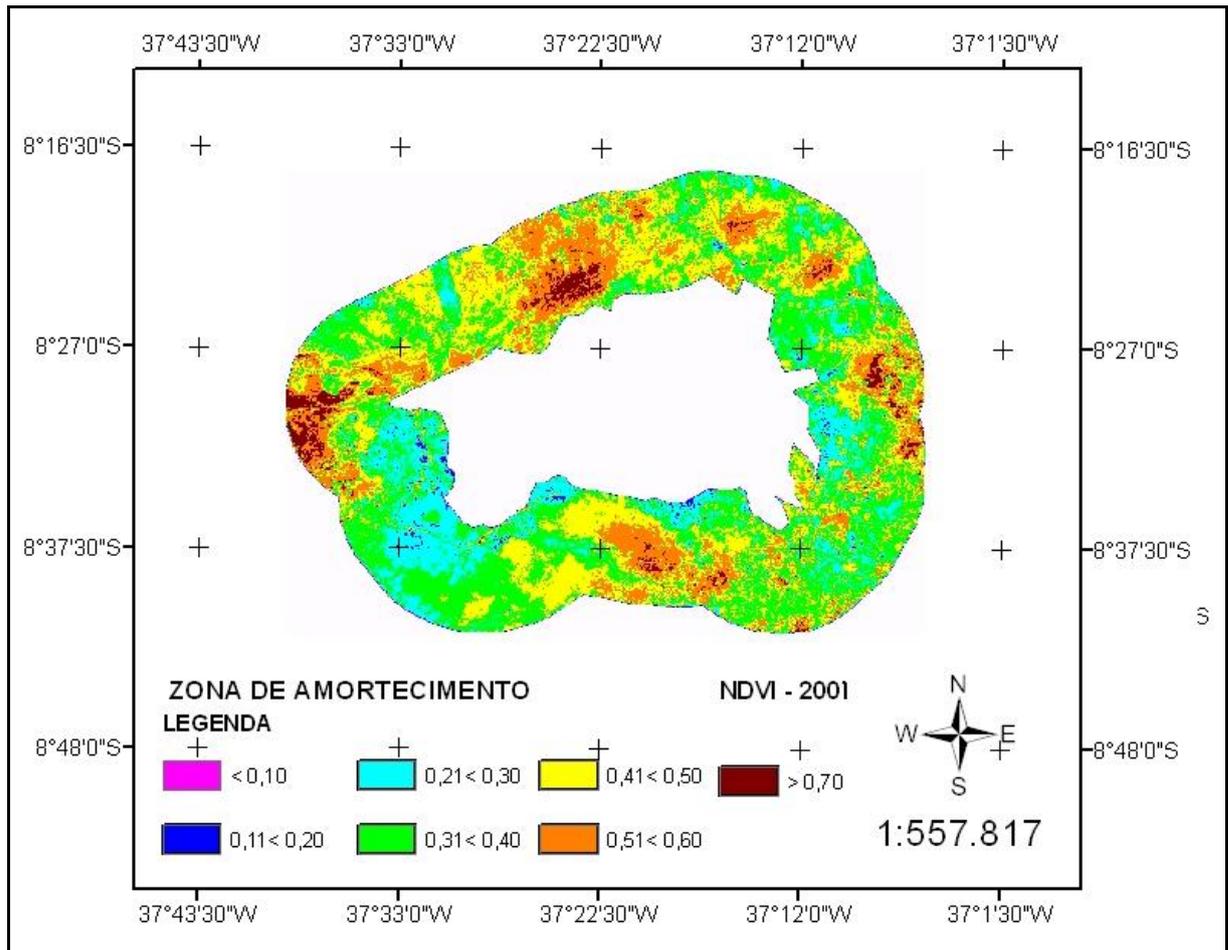


Figura 38: Representação de mosaico em NDVI da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau em 15/05/2001. A área em cor branca representa a área do PNC, o polígono exterior colorido é a ZA. As cores dos quadros da legenda reaperentam os índices de NDVI, esses variam de menor em cor rosa (<0,10) ao maior em cor marrom escura (>0,70). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009)

Quanto à localização e identificação dessas importantes manchas representadas pelas cores laranja e marrom, observa-se ao norte a mancha maior na longitude $37^{\circ} 22'30''\text{W}$ de latitude $8^{\circ} 27'0''\text{S}$, denominada serra do Juá, onde as cotas altimétricas variam entre 627-907m. Na outra mancha ao sul, entre a longitude $37^{\circ}12'30''\text{W}$ e latitude $8^{\circ}37'30''\text{S}$, localizam-se as manchas que correspondem às serras dos Pinheiros e Pereiros, onde a altitude oscila entre 627 e 1068 m.

As manchas menores na coordenada geográfica $37^{\circ}12'0''\text{W}$ de longitude e latitude $8^{\circ}27'0''\text{S}$ são as serras da Tinideira (914 m) e do Salobro (870 m) ambas próximas ao município de Arcoverde. Na mancha maior na coordenada geográfica $37^{\circ}22'30''$ de longitude W e latitude $8^{\circ}37'30''\text{S}$ localizam-se as serras do Pinga (1018 m) e da Mina Grande (1000 m). Pode-se dizer que a distribuição dessas manchas detentoras dos melhores índices de NDVI, ocupam áreas que contornam as formas de relevo erosivas ou denudacionais de terceiro táxon,

onde se elucida a influência da altitude e do relevo sobre o desenvolvimento da vegetação e, conseqüente elevação do NDVI.

5.6 Análise da assinatura espectral espacial da vegetação em NDVI da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau (PNC) em 2007 e sua relação com o efeito estrada

Analisando o NDVI de 2007 (Figura 39) percebe-se que as mudanças que ocorreram em relação ao ano de 2001 (Figura 38), sucederam no padrão da distribuição espacial das manchas. Essas modificações de assinatura espectral são resultados da mutação proveniente do comportamento da vegetação. Como conseqüência, a espacialidade das manchas vai igualmente aparecer alterada. São essas mutações espaciais que definem o mecanismo de expansão ou retração das manchas.

Quanto aos valores observados na figura 38, esses representam a energia absorvida pela folha, e detectada pelos sensores que operam no infravermelho termal, de modo que as diferentes energias emanadas da vegetação conferem diferentes níveis de NDVI; os maiores representam vegetação densa, e os menores para vegetação arbustiva.

Os alvos dessas mudanças na assinatura espacial foram pontuais e concentradas em dois pontos distintos, um ao Sul, onde se concentraram os melhores índices de vegetação representados pela nítida expansão da mancha marrom, de $NDVI > 0,70$; a outra ao norte da ZA, onde se percebe a aglomeração dos domínios das manchas uma ciano ($0,21 < 0,30$), a verde $0,31 < 0,40$, centralizando níveis baixos e médios níveis de NDVI. Esses dois setores mostram os efeitos da influência do relevo dos distintos compartimentos morfoestruturais de segundo táxon, presentes na extensa morfoestrutura denominada planalto da bacia do Jatobá, localizado a sotavento e ao norte. Foi nesse setor geomorfológico onde as mudanças ocorreram de forma enfática, marcadas principalmente pela expansão da mancha ciano ($0,21 < 0,30$), e redução das manchas amarela ($0,41 < 0,50$), laranja ($0,51 < 0,60$), e marrom ($> 0,70$), que se concentravam nas unidades morfológicas denudacionais ou erosivas.

Nas formas denudacionais, as transformações se deram especialmente nos topos convexos, denominados de serras do Juá, do Serrote Comprido, e da Maçaranduba. Nessas áreas em 2001 (Figura 38) estavam presentes os melhores intervalos de NDVI, demonstrados pelo domínio de manchas em tons de laranja de intervalos $0,51 > 0,60$; marrom com $> 0,70$. Entretanto, em 2007 (Figura 39), nesses mesmos locais, ocorreu uma visível deformação, sob domínio das manchas ciano ($0,21 < 0,30$), e verde ($0,31 < 0,40$).

Entretanto, em uma área de erosão ou denudacional, a vegetação apresentou característica diferenciada. Foi o caso da mancha que representa a serra dos Pereiros, nas coordenadas 37°12'0"W de longitude, e 8° 27'0"S de latitude, onde comportamento espectral indicou regeneração de vegetação. Por essas condições, tornou-se testemunho da presença pretérita uma cobertura vegetal densa e arbórea de Caatinga, que ocupava essa área em 2001.

No setor Sul, a barlavento, onde predomina a morfoestrutura cristalina, é onde as mudanças ocorridas podem levar ao equívoco na interpretação do NDVI. Isso se dá porque lá havia manchas em cor ciano ($0,21 < 0,30$), e verde ($0,31 < 0,40$), e, em 2007, estas foram modificadas para as cores amarela ($0,41 < 0,50$), laranja ($0,51 < 0,60$), e marron ($> 0,70$), com os melhores intervalos de NDVI. O que se percebe nesse caso específico é que, embora tenha havido de fato um aumento de NDVI nessa área do setor sul, isto não significa a regeneração da Caatinga arbórea densa, mais sim de outros fatores, como excesso hídrico por irrigação, ou possível influência dos índices pluviométricos, fatores sempre presentes em virtude condições físicas diferenciadas, inclusive o grande potencial agrário que é explorado nesse setor.

O que se conclui nessa primeira etapa da pesquisa, considerando inicialmente como escala espacial a ZA, é que de fato houve registro de redução da Caatinga em quase toda a área que circunda o PNC, especificamente nas áreas de acumulação do quarto táxon, onde se localizam as formas de relevo erosivas. Em campo foram observados registros no sexto táxon, onde as atividades humanas são mais incisivas, principalmente nas proximidades das margens de estradas, apontando um forte efeito destas sobre o ecossistema.

Esses indícios de mudanças foram evidenciados quando se comparam os mapas da composição RGB (Figuras 36 e 37), que distinguiram a mudança no padrão espacial; nos mapas de NDVI (Figuras 38 e 39) que mostrou a redução através de registro espectral em escala comparativa e, por fim, em campo por fotografias em que se registraram evidências do efeito estrada na escala espacial fina (Figura 40).

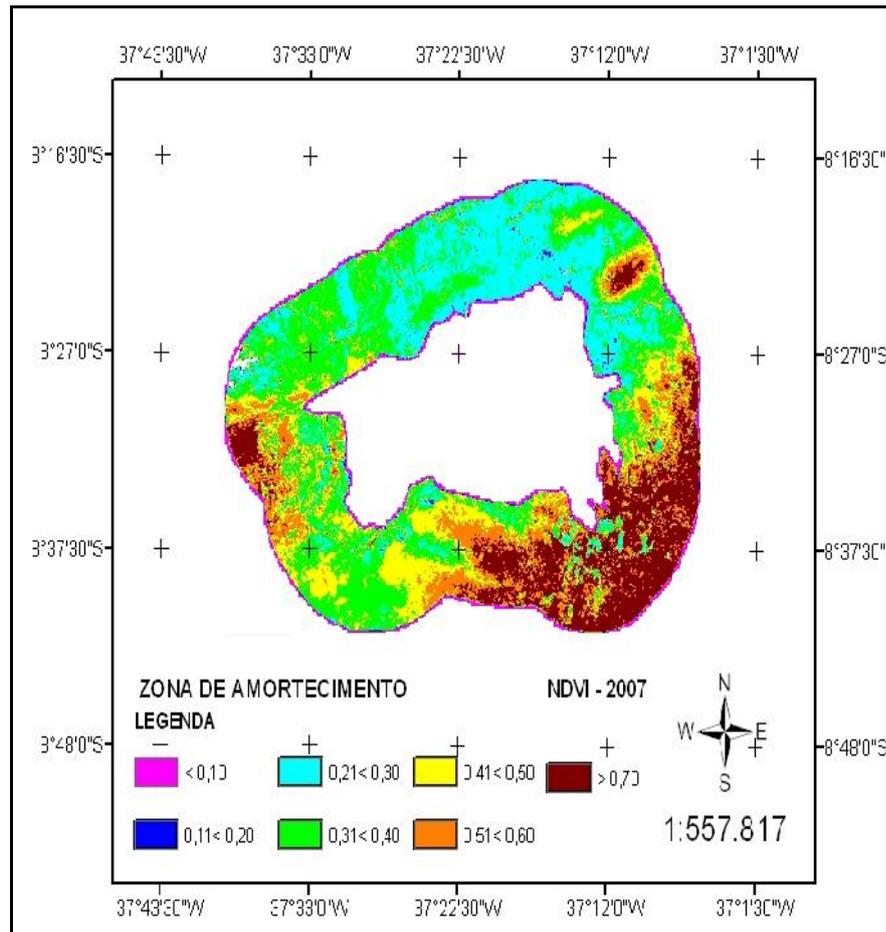


Figura 39: Representação em NDVI da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Nacional do Catimbau (PNC) em 19/07/2007. Em 2007 observa-se que o padrão de cores dominantes visto em 2001 foi modificado. Os níveis que representam os melhores índices de NDVI ficaram concentrados no setor Sul e nos locais de cotas altimétricas elevadas. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009)



Figura 40: Lixão do Cigano nas coordenadas S. $8^{\circ}37'24''$; W. $37^{\circ}13'49''$ constitui um significativo exemplo do efeito estrada presente na vicinal do Catimbau na Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2004).

Quanto à sistematização dos dados, que traduzem em números o comportamento da vegetação na ZA, observa-se na Tabela 8 que a o valor modal foi reduzido em 25% e, o NDVI mínimo em 5,4%. É possível que esses valores estejam relacionados ao setor Norte, uma vez que foi nesse setor onde ocorreu a maior redução de NDVI e, conseqüentemente, de vegetação. Quanto aos valores que aumentaram como os casos da máxima em 14,5%, e a média em 2,5%, podem estar relacionados ao excesso hídrico do setor Sul, oriundo possivelmente da agricultura, condições climáticas, exposições a barlavento, entre outros.

Tabela 7: Comparativo da variação de NDVI da zona de amortecimento do Parque Nacional do Catimbau.

NDVI	Ano 2001	Ano 2007	Redução de vegetação	Excesso hídrico
Mínimo	0,17	0,17	5,4%	
Máximo	0,70	0,80		14,5%
Moda	0,40	0,32	25%	
Média	0,41	0,42		2,5%

(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

A variação dos dados da tabela 7 é explicada por serem os setores norte e sul completamente diferentes entre si, tanto nos aspectos físicos, principalmente o geomorfológico e climático, como em relação às potencialidades econômicas. Deve-se considerar ainda que a estimativa do NDVI não leva em consideração se a vegetação é nativa ou não, mas sim o dossel que é responsável pela energia emanada. Dessa forma, uma área de plantio pode, dependendo do que é cultivado, desencadear liberação de energia em determinado comprimento de onda e calor e ser detectado e computado como ganho de vegetação, de modo que a média pode obscurecer uma realidade espacial a ser elucidada em campo.

Na etapa seguinte, visando diminuir os efeitos dessa média no NDVI para mais como ocorreu no setor sul, e para menos no setor norte, reduziu-se a escala tendo como base a ZA, optando-se por uma escala menor, abrangendo as formas de relevo agradacionais (acumulação) relacionadas diretamente com a inserção dos eixos rodoviários, ou como denominado pela Geomorfologia, áreas que vão do terceiro ao sexto táxon, com as quais se buscou esclarecer em pormenores as medidas de tendência central que apontaram em direção a uma possível redução da vegetação nos setores Sul e Norte.

5.7 As diferenças das características geomorfológicas dos setores Norte e Sul da zona de amortecimento (ZA) e sua influência no NDVI

Em 2007 ficou explícita a diferença entre dois setores. Ao norte houve uma concentração significativa das manchas de cores verde e ciano, o sul por sua vez, concentrou as manchas nas cores laranja e, principalmente, a marrom. Essa distribuição pontual das manchas acabou por elucidar as diferentes características geomorfológicas presentes na macroestrutura denominada bacia do Jatobá, de modo que ficaram bastante nítidos os dois compartimentos de segundo táxon presentes nessa área, diferenças físicas que influenciam diretamente nas características da vegetação.

Percebeu-se que a área onde se insere a ZA, trata-se de uma extensa morfoestrutura que se divide em dois compartimentos ou unidades morfoesculturais distintas de segundo táxon, uma primeira sedimentar caracterizada por mesetas e chapadas de topo plano, visto aqui em textura lisa e marrom, e outra de forma complexa que sugere o uso de do termo maciço, composto por cristas e serras isoladas, observadas na cor verde (CORRÊA, 2005). Estas, por serem notáveis, podem ser percebidas nos diferentes tons na imagem de satélite (Figura 41).



Figura 41: Vistas das feições geomorfológicas da Zona de Amortecimento de Parque Nacional do Catimbau (PE). A linha pontilhada amarela delimita a ZA, a cheia amarela o limite do parque.

Fonte: Image©GeoEye /© Cens Spot Image 2011.

Nessa área em estudo observam-se diferenças nos índices de NDVI. Ao norte eles foram em geral baixos, e ao sul eles se apresentaram bastante elevados. Nessas áreas os ambientes são completamente diferenciados em termos geomorfológicos e climáticos, condições naturais que interferiram diretamente na forma de análise de NDVI para cada setor.

A porção norte em cor (Figura 41) tem como referência Arcoverde, onde as cotas altimétricas variam entre 527 – 627m, proximidade do relevo de arenito da bacia sedimentar da Chapada do São José, que se sobressai por suas formas de mesetas e morros testemunho, fazendo interface com a unidade geomorfológica da Depressão Sertaneja ao norte, marcado pelos processos de denudação, em meio ao um imenso pediplano permeado por inselbergues isolados que dominam a paisagem (CORRÊA, 2006).

Quanto à vegetação nesse setor que constitui o componente de análise do NDVI, prepondera uma paisagem natural, marcadamente dominada por Caatinga arbustiva (Figura 42), e um solo raso e bastante recoberto por palma forrageira (*Opuntia spp*), ou muitas vezes gramíneas (Poaceae), que servem de pasto, muito comumente usado na alimentação do gado bovino das fazendas e sítios locais (Figura 43).



Figura 42: Amostra de Caatinga arbustiva nas proximidades da rodovia BR 232 nas proximidades do município de Arcoverde (37° 33'0"W e 8°27'30"S).

(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2008).



Figura 43: Um extenso pediplano com vegetação arbustiva domina o setor norte, no horizonte onde o morro testemunho do Chapéu. 10/04/2009. ($37^{\circ}12'0''\text{W}$ e $8^{\circ}16'0''\text{S}$). O NDVI nesse setor atingiu o nível $< 0,11$. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

Ao sul, que aparece na cor verde na imagem de satélite (Figura 41), predomina o Maciço da Borborema, onde relevo é escarpado e bastante colinoso, e suas cotas altimétricas variam entre 670 a 904 mil metros, valores bem superior ao setor norte. Embora o clima geral da região seja considerado semiárido, as condições geomorfológicas e climáticas locais acabam por alterar as precipitações pluviométricas.

Quanto às condições climáticas que interferiram positivamente no NDVI, em 2001, o setor norte, tem como estação de referência o município de Arcoverde, sempre mais seco, teve uma precipitação pluviométrica 583 milímetros. O setor sul por sua vez, o que nos remete-se à estação Buíque que é mais úmida, as precipitações foram sempre superior ao setor norte, tanto em 2001 quanto em 2007 (Figuras 44 e 45). São essas condições climáticas e geomorfológicas que interferem no comportamento da vegetação, e favorecem a elevação dos intervalos de NDVI nesse setor.

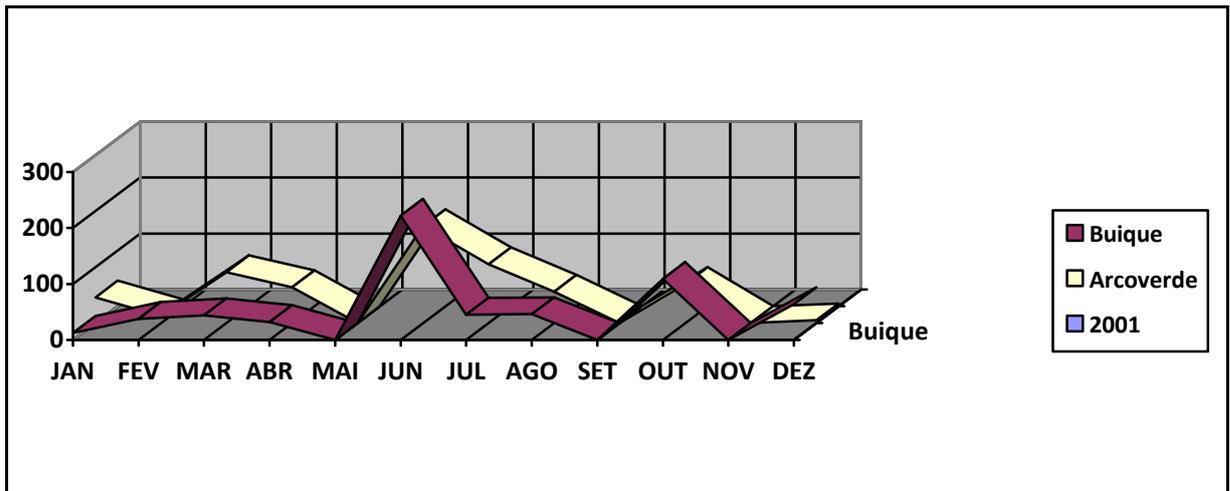


Figura 44: Precipitação pluviométrica (mm) ao longo do ano de 2001, segundo dados dos postos meteorológicos mostra que Buíque foi superou ao município de Arcoverde (PE).

Fonte: Dados do ITEP/LAMEPE (2001). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

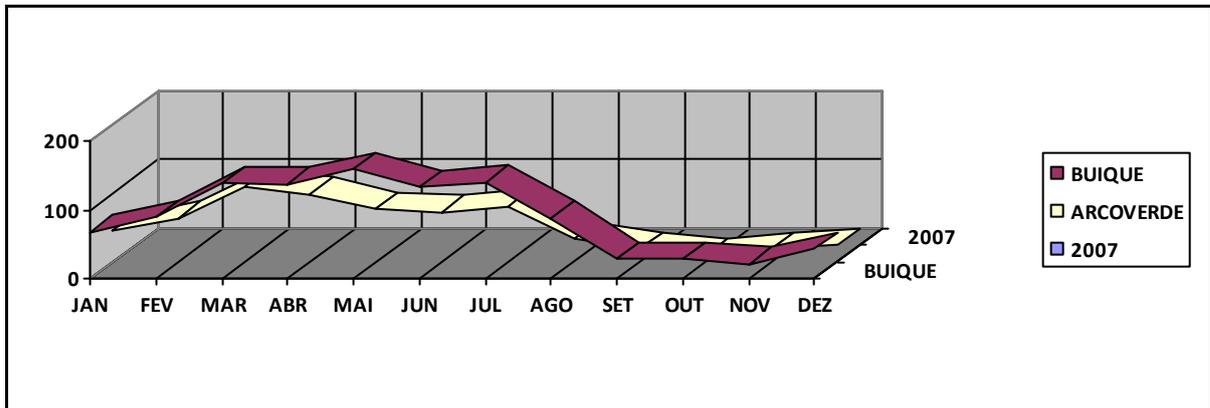


Figura 45: Precipitação pluviométrica (mm) ao longo do ano de 2007, segundo dados dos postos meteorológicos dos municípios de Arcoverde e Buíque (PE).

Fonte: Dados do ITEP/LAMEPE (2007). (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009)

A presença de solo exposto é rara; prevalecem às intervenções humanas associadas à prática agrária muito eficiente nessa área, e mesmo quando em pousio desenvolve-se um estrato herbáceo e abundante, criando um panorama natural muito pouco diferenciado em relação a que foi descrito na década de oitenta por Lins (1989).

5.8 Análises comparativas do efeito estrada e assinatura espectral da cobertura vegetal em NDVI do eixo rodoviário norte

O recorte representado pela figura 46 mostra o setor da ZA onde se situam as rodovias do norte. O polígono na forma de quadrado na parte interior, elucida a localização do entroncamento das rodovias BR 232, BR110 e PE 360, e os fragmentos 1, 2, 3 e 4 como visto

na figura 33, área que por suas condições geoambientais teve um enfoque diferenciado. A distribuição dos índices do NDVI que se observa é indentica à situação vista na ZA, números que concebem os níveis de vegetação obtidos pelo sensor remoto no dia 15/05/2001.

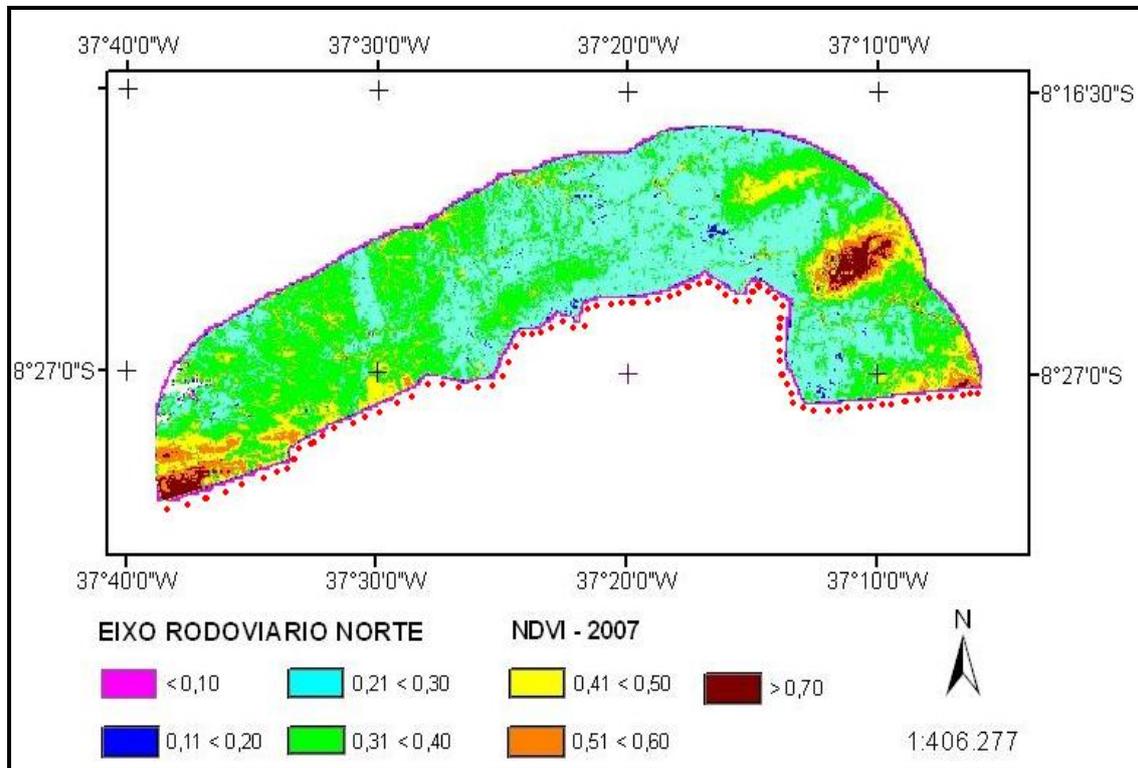


Figura 46: Segmento da Zona de Amortecimento do Parque nacional do Catimbau (PNC), setor Norte, onde se situa o eixo rodoviário. A linha pontilhada na cor vermelha mostra o limite do PNC. As manchas na cor laranja e marrom são retalhos das escarpas da Borborema, onde se concentram os melhores índices de NDVI (0,70). (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

A figura 47 mostra que a distribuição da vegetação em 2001 apresentou uma relação direta com a disposição das cotas altimétricas, de forma que os melhores índices de NDVI se encontram no topos das áreas denudacionais ou erosivas, representados pela cor marrom (>0,70) nas cotas de 900 metros de altitude; laranja (0,51> 0,60) com 700 a 800 m; amarela (0,41>0,50) entre 500 e 600 m. Por sua vez, os índices mais baixos de NDVI, são as manchas verde (0,31<0,40), ciano (0,21< 0,30) e, principalmente, o menor 0,11< 0,20 em azul. A relação das áreas com atividades humanas, elucida-se no entrocamento da BR 232 e BR 110.

Em 2007 (Figura 48) como resultado de uma mudança temporal, a espacialização da vegetação apresentou uma queda dos índices de vegetação. Como consequência, estabeleceu-se uma reordenação das cotas de NDVI representadas por manchas. Ficou evidente que houve regressão no nível de vegetação, sendo notória principalmente no entorno do entrocamento do

eixo rodoviário das BR 232, BR 110 e PE 360, caracterizando de forma enfática o perfil retilíneo do efeito estrada.

A nova distribuição dos níveis de vegetação se deu com a regressão principalmente das manchas amarela ($0,41 < 0,50$) e laranja ($0,51 < 0,60$). Como consequência essa área passou a ser ocupada por manchas que representam níveis menores de NDVI, como o caso da mancha verde ($0,31 < 0,40$), mas a ênfase maior da regressão foi marcada pelos níveis mais baixos, o ciano ($0,21 < 0,30$). Essa regressão elucidou nitidamente as estradas BR 232, BR110 e PE 360 (Figura 50), que apresentou um traço azul com nível ($0,11 < 0,20$). Essa feição, que elucidada o efeito estrada, fica evidente quando se compara com a imagem de satélite. Os melhores índices dessa área foram representados pelo $NDVI > 0,70$, circunscrito à serra dos Pereiros.

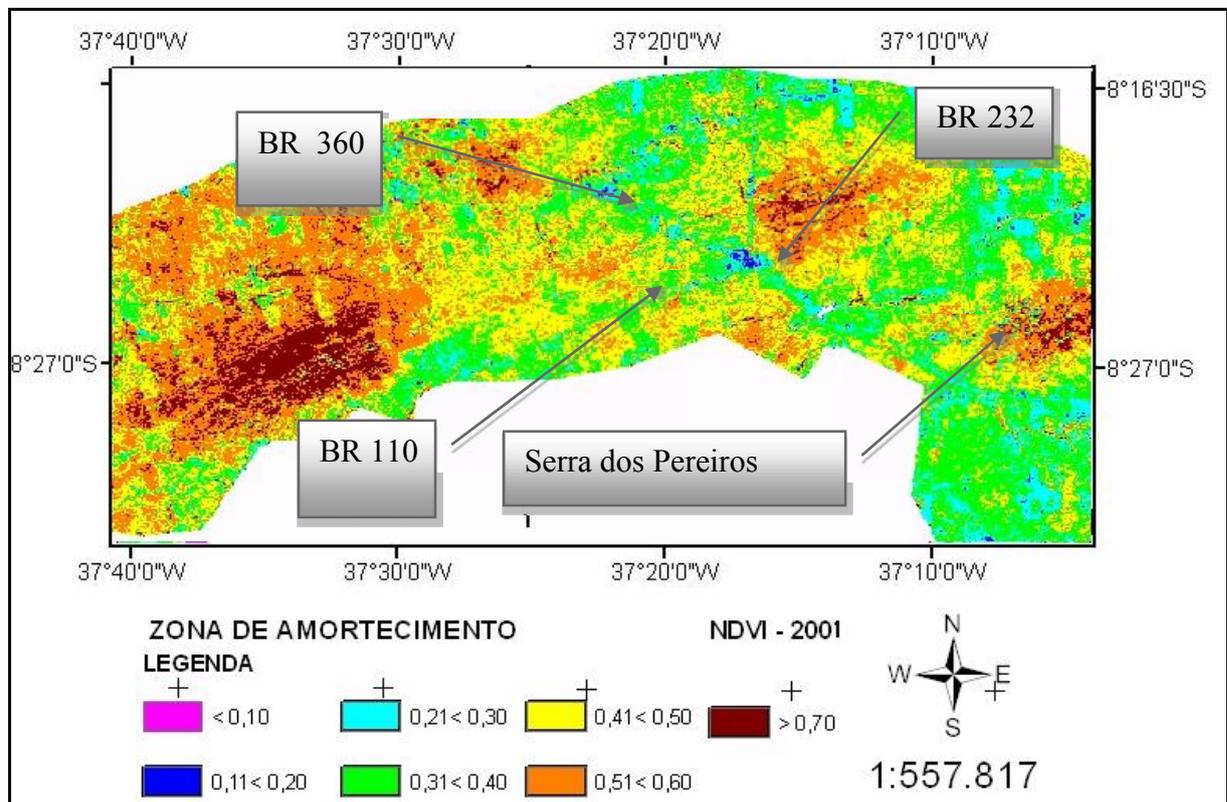


Figura 47: NDVI do entroncamento rodoviário da BR 110 em Cruzeiro do Nordeste, BR 232 nas proximidades de Arcoverde em 2001. Observa-se que os menores índices de NDVI (azul $0,11 < 0,20$) aparecem próximos às estradas. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

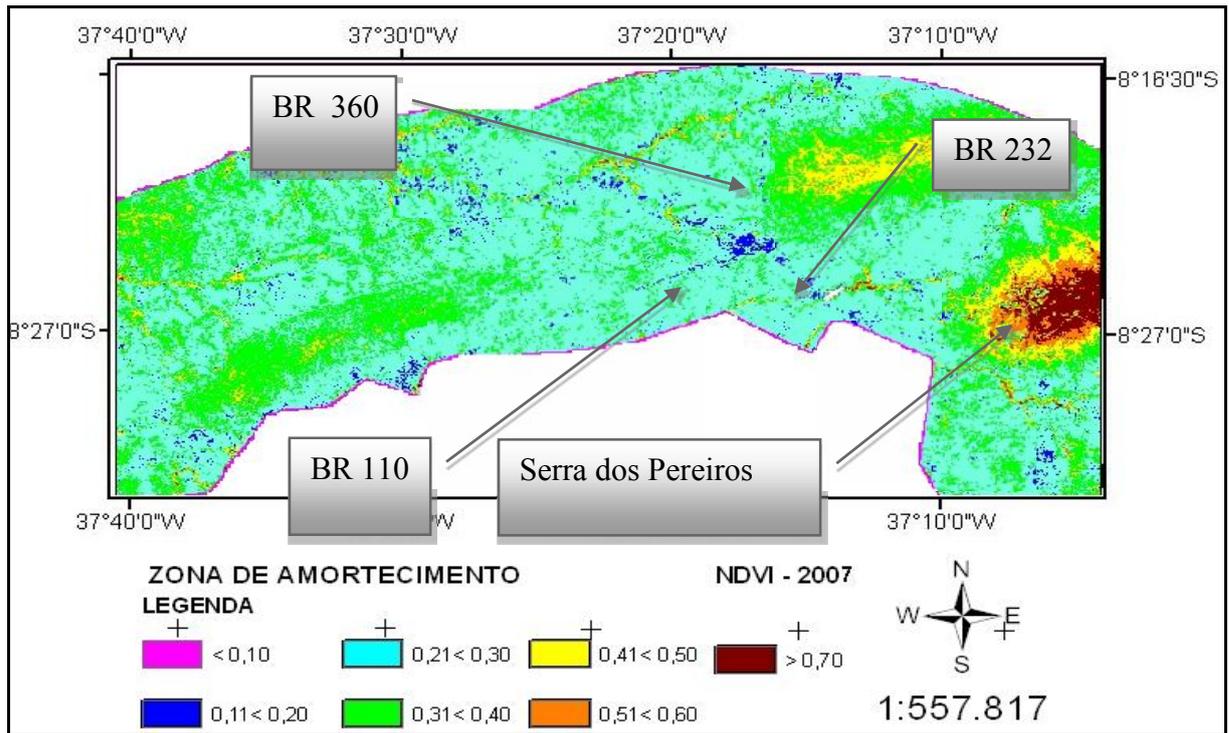


Figura 48: O entroncamento rodoviário BR 232, BR 110 e PE 360 em 2007 apresentaram um novo padrão de distribuição do NDVI. Em 2007 os níveis de NDVI (0,11 < 0,20) aparecem bem nítidos e concentrados nos eixos rodoviários, elucidando uma tendência de menor vegetação nas proximidades das estradas, apontando uma forte relação entre o efeito estrada e a redução da vegetação. (Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

A Figura 49 mostra imagem de satélite da área que abrange partes da Microrregião do Sertão do Moxotó em cor cinza, e Microrregião do Vale do Ipanema com predomínio da cor verde, onde se situa a maior parte da ZA que circunda PNC.



Figura 49: Imagem de satélite do eixo rodoviário do setor norte da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau. No entorno d BR 110 e a BR 232 o NDVI apresentou redução de vegetação pelo efeito estrada. Fonte: Image©GeoEye /© Cens Spot Image 2011 (Modificado pelo autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009).

5.9 Análises sistematizadas do efeito estrada com uso do NDVI do eixo rodoviário norte da Zona de Amortecimento

Essas diferenças entre os índices de NDVI registrada na escala temporal que abrangeu os anos de 2001 e 2007 observadas na Figuras 38 e 39, podem ser melhor analisadas quando observa-se os valores da Tabela 9. Nesse contexto, as representações matemáticas são fundamentais, pois permitem melhorar as análises dos dados obtidos da interpretação da imagem de satélite. Na análise das medidas de tendência central do histogramas (Figura 50), provenientes dos recortes espaciais os dados apontaram para uma repetição do valor da máxima, e redução da moda e da média.

Além disso, em 2001 (esquerda), a distribuição da colunas verticais evidencia uma vegetação em equilíbrio, ou homogênea, porém concentrada em direção aos valores acima de 0,39, que pode ser entendido como reflexo ao aumento da atividade fotossintética nas porções mais distantes dos eixos rodoviários. Nesses locais a cobertura vegetal é mais enfática. Em 2007 a distribuição das colunas foi alterada evidenciado uma mudança na cobertura vegetal. O centro dos pixels tem como média 0,32 formando um divisor, entre uma representação dissimétrica de coluna, que regride progressivamente em direção aos índices mais altos índices de NDVI, ou seja 0,44. Por outro lado, o valor atribuído como mínimo também foi mantido (Tabela 8).

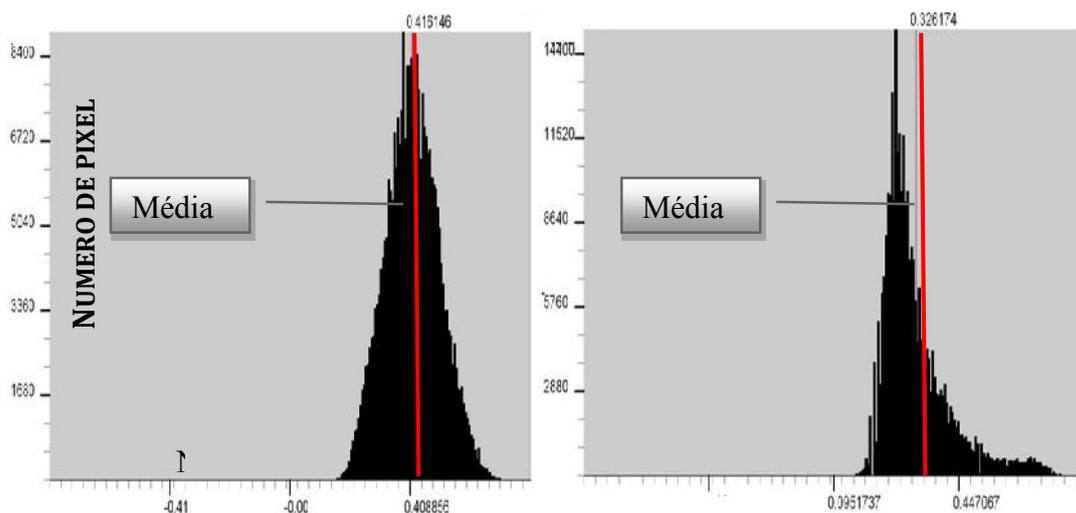


Figura 50: Histograma de frequência do eixo rodoviário norte em 2001 e 2007 da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

Tabela 8: Representação das medidas de tendência central do histogramas provenientes dos recortes da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau.

NDVI	Ano 2001	Ano 2007	Redução de vegetação
Mínimo	0,18	0,18	-
Máximo	0,69	0,69	-
Moda	0,38	0,26	46,6%
Média	0,40	0,29	40 %

(Autor: Natalicio de Melo Rodrigues, 2009)

O valor mínimo de NDVI 0,18, registrado em 2001 se manteve em 2007, porém espacialmente passou ocupar uma área maior do que havia sido registrado em 2001, e notadamente concentrado nas proximidades do eixo rodoviário da BR 232 (Tabela 9). Apesar do valor máximo 0,69 que aparece em 2001 ter se mantido em 2007, a vegetação encontra-se espacialmente reduzida, e a presença desse nível em 2007 se restringiu as cotas altimétricas acima de 900 m, como é o caso das serra dos Pereiros (Figuras 47e 48), dado que visto isoladamente, mascara a redução presente na escala temporal em análise.

Por sua vez, a moda, valor mais repetido espacialmente, apresentou em 2001 intervalos 0,38 de NDVI, considerada excelente, acima da média 0,29 atribuída à Caatinga (LIU, 2006), porém em 2007 (Tabela 8), houve uma queda percentual de 46,6%, ficando reduzido a 0,26 de NDVI. Este, embora seja um dado muito próximo à média, atribuída à Caatinga, mostra que houve a regressão da vegetação e, conseqüentemente, redução espacial das manchas de cor amarela ($0,41 < 0,50$), e expansão do ciano ($0,21 < 0,30$).

Quanto à média, em 2001 era 0,40, porém, em 2007 fica reduzida para 0,29. Entretanto, esse dado apenas representa um número isolado de uma amostragem sem representação espacial que permita associar qualquer tipo de aglomerado de vegetação. Vale salientar que esses dados são apenas representações quantitativas, o que nem sempre representa uma realidade de campo.

5.10 Análises comparativas do efeito estrada da assinatura espectral da cobertura vegetal do eixo rodoviário do setor sul em 2001 e 2007

O recorte sul (Figura 51) localiza-se nas coordenadas $8^{\circ}22'33''S$ de latitude, e $37^{\circ}12'0''N$ de longitude, área onde se insere o eixo rodoviário sul, composto pelos fragmentos 1 a 7 (Tabela 9), e pelas estradas, a PE 270 que liga Arcoverde – Buíque, e as vicinais do Carneiro, e do Catimbau, que conectam a Vila do Catimbau ao município de Buíque – PE.

Esse setor apresentou um comportamento bem diferenciado em relação ao setor Norte, permitindo observar as vicinais secundárias, tornando possível elucidar o processo de fragmentação em consequência do efeito estrada.

A alta umidade presente no solo e na vegetação elevou os índices do NDVI em todo o setor onde se insere o eixo rodoviário, tornando os registros no entorno das rodovias e estradas com comportamento semelhante ao de aumento de vegetação. Entretanto, com a visita de campo, ficou evidente que o excessivo aumento de NDVI, encontra-se relacionado à expansão de área agrícola, e consequente umidade do solo, fenômeno que é denominado no sensoriamento remoto de excesso hídrico, comumente confundido com aumento de vegetação.

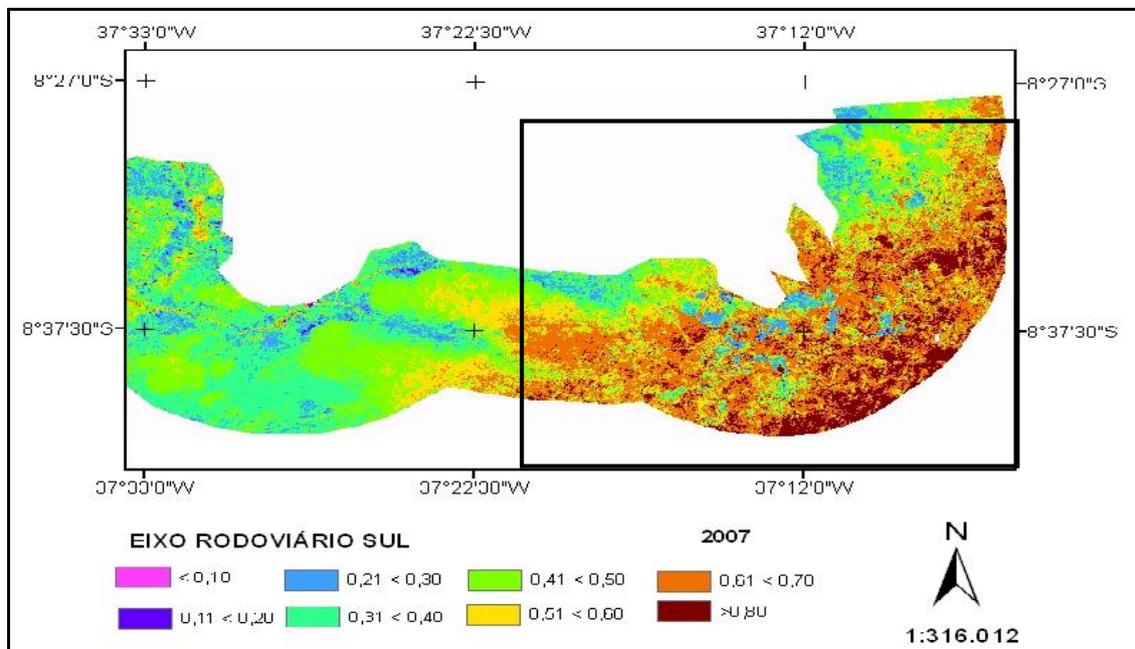


Figura 51: Recorte espacial da área que abrange o eixo sul da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau em 2007. O quadro menor representa a área onde se deu a alteração na cobertura vegetal, e nesse recorte onde se localiza o principal eixo de entroncamento rodoviário. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

Essas hipóteses do excesso hídrico ficaram bastante notórias, principalmente no entorno da rodovia PE 270 e da vicinal do Catimbau, onde foi registrado em 2001 um domínio da mancha de cor verde com índice $0,41 < 0,50$. Em 2007, no mesmo local, registrou-se um aumento do nível de NDVI para $(0,61 < 0,70)$ acompanhado da expansão da mancha laranja, e 0,80 para a marrom.

A expansão dos altos níveis de NDVI nessa área, se interpretada isoladamente sem visita a campo, pode ser induzir a uma falsa interpretação, levado a crer que a vegetação do

tipo Caatinga aumentou nessa área. Entretanto, em campo, observou-se, que os altos índices registrados não se referem à Caatinga. Teoricamente são valores elevados para serem interpretados como tal, uma vez que como na literatura não há esse registro e como varia em termos de NDVI de no máximo entre 2,27 a 3,47(LIU, 2006, pag.438), descaracteriza a presença da Caatinga.

A princípio, os índices elevados nesse local, podem ser explicados pelo excesso hídrico. Nesse caso, as condições climáticas registradas no dia, e a influência do relevo local, foram fundamentais para elevação do NDVI, em decorrência do alto índice pluviométrico registrado no local. No mês da passagem do satélite foram registrados índices pluviométricos de 141 mm dia, e a média anual ficou em 942 mm/ano (Figura 45). Deve-se considerar ainda, a excelente capacidade de infiltração do solo local, a simultânea saturação e, o conseqüente aumento do escoamento superficial de água de chuva, condições que podem ter contribuído para excesso hídrico nessa área quando registrado pelo sensor orbital.

Um dos locais das amostragens de campo pode ser observado na figura 53, onde se observou um aumento da lâmina d'água da barragem Mulungu, que ocupava em 2001 uma área de 5 hectares, porém em 2007, após as precipitações pluviométricas, a lâmina de água na forma de uma mancha branca se expandiu consideravelmente, acumulação que passou ocupar um perímetro de 7 hectares, representando um aumento de área alagada próximo de 40% (Figura 52).

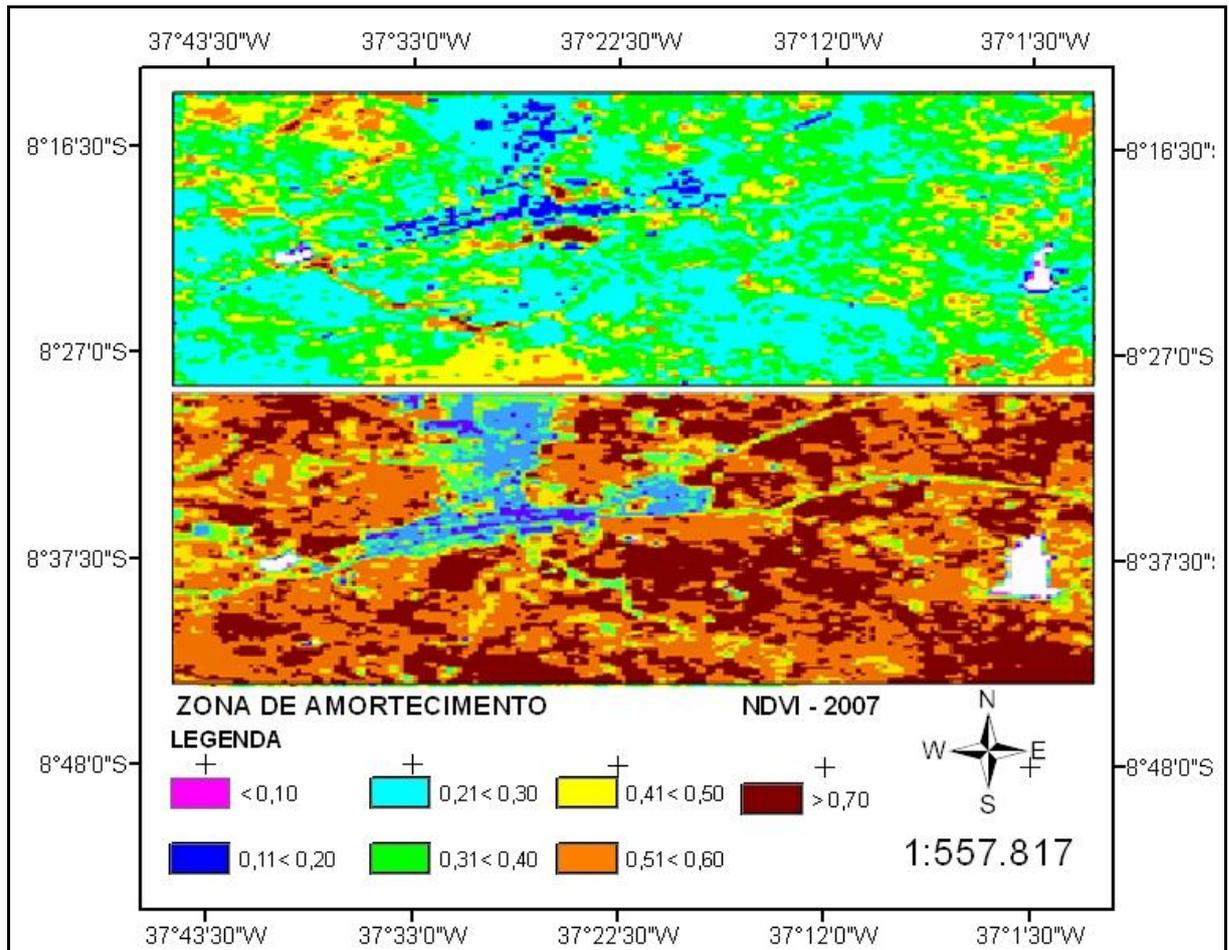


Figura 52: Recorte elucidando a mudança do NDVI na escala temporal de 2001 e 2007. A imagem de 2001 na parte superior aparece na cor verde, e a imagem de 2007 em cor marrom. Essa diferença de cor em 2001 se deu pela ausência de chuvas; ao contrário em 2007 as precipitações pluviométricas refletiram na elevação do o índice acima de $<0,50$. Duas manchas brancas podem ser observadas nas duas figuras: a menor e a esquerda representa a lagoa do Riacho; à direita a mancha maior é a barragem do Mulungu que foi ampliada pela captação de chuvas; a mancha na cor azul é a área urbana de Buíque - PE.

(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).



Figura 53: Barragem do Mulungu – Buíque – PE após as precipitações do ano de 2007. ($08^{\circ}37'51''$ W e $37^{\circ}07'49''$ S). (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

5.11 O efeito estrada nas rodovias vicinal do Catimbau e PE 270

As Figuras 56 e 57 mostram o local onde se situa o entroncamento entre da PE 270 com a vicinal do Catimbau e, seus conseqüentes fragmentos (5, 6 e 7), nos anos de 2001 e 2007, respectivamente. Buscando analogia observam-se situações diferenciadas, marcadas principalmente por mudanças nas manchas representadas na distribuição das cores e, sobretudo, nos aspectos geométricos.

O ano de 2001 predominou o aumento das manchas em cor ciano de NDVI $0,21 < 0,30$, e verde ($0,31 < 0,51$) em quase totalidade, distribuídas principalmente nas áreas deposicionais. Manchas, de médio e elevado NDVI, de cor amarela ($0,51 < 0,60$), laranja ($0,61 < 0,70$), ocupam área de campos agrícolas sujeitos ao excesso hídrico. Porém, somente nas áreas erosivas, onde contas altimétricas são elevadas, é que se encontram de fato cobertas a vegetação densa, com NDVI de $>0,70$.

Outras mudanças significativas, que foram observadas em campo, e que não tratam de aumento de NDVI nesse setor, são os traços retilíneos e sinuosos que se destacam no recorte. Eles representam a inserção das estradas, e que estão representados pela cor amarela ($0,51 < 0,60$). Percebe-se que houve um aumento no número de estradas nesse setor se comparados com os dados oficiais registrados no guia de estradas. O aumento do NDVI pode ser correlacionado à inserção das estradas e, a conseqüente fragmentação desse setor.

A afirmação de que os traços retilíneos e sinuosos são de fato estradas, foi ratificada através da refletância da banda três e, consolidada com visita a campo. Considerando as estradas secundárias também causadoras do efeito estrada, amplia-se a redução de vegetação na ZA. A aferição da refletância do NDVI varia em escala de zero a 255, sendo este considerado valor para solo exposto. Nas estradas de terra esses níveis variaram de 203 a 227, e nas rodovias asfaltadas oscilaram de 150 a 199, o que leva a concluir que as estradas de terra têm uma refletância maior, ao contrário das rodovias em que o asfalto absorve mais energia, e por isso refletem menos.

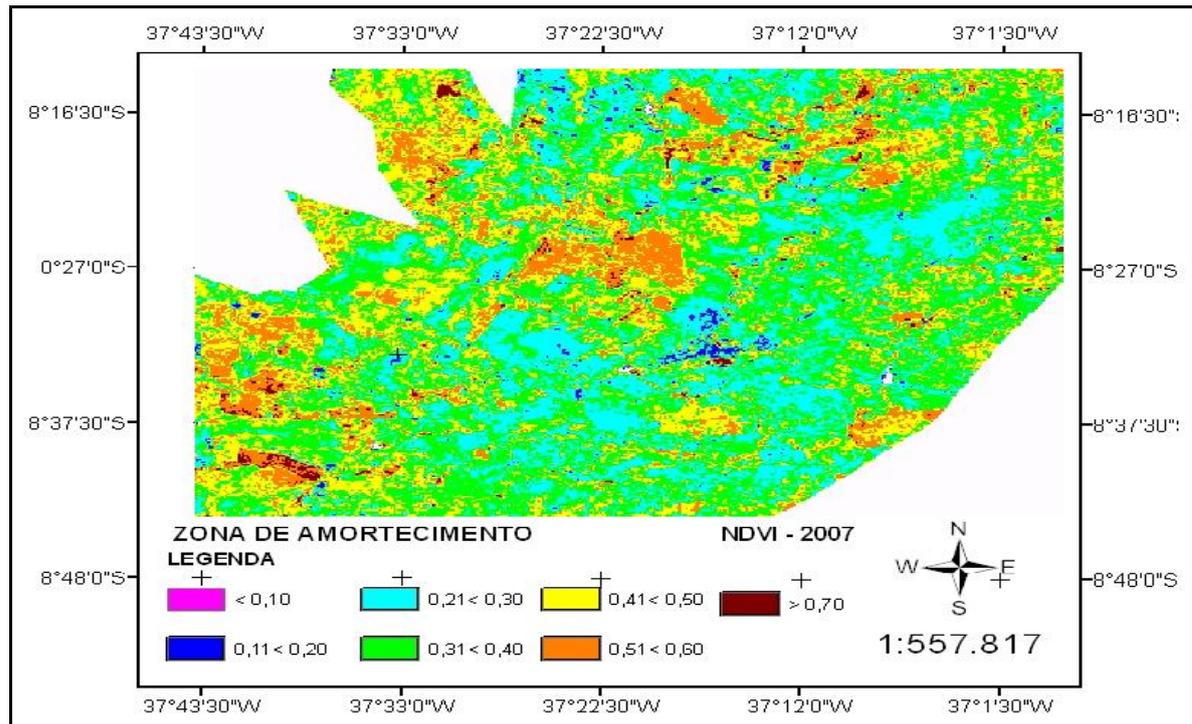


Figura 54: Distribuição do NDVI no entorno da vicinal do Catimbau e PE 270. Em 2001 o delineamento da estrada não é perceptível, entretanto os menores índices registrados foi na borda na PE 270 que pode ser visto em azul e índice 0,11. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2008).

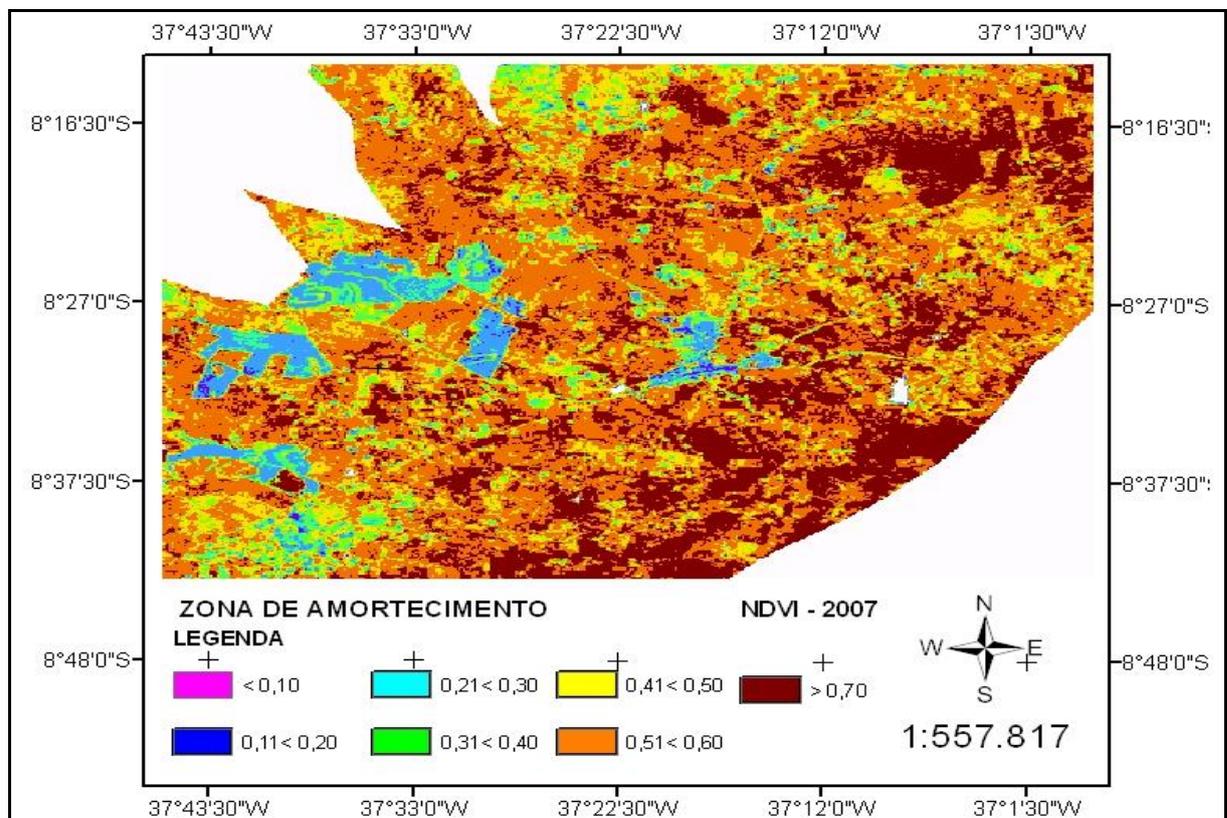


Figura 55: Distribuição do NDVI no entorno da Vicinal do Catimbau e PE 270. Em e 2007 devido as chuvas a vegetação absorveu muita umidade e diminui a reflexão da energia solar; a alta umidade elucidou o perfil das estradas, identificando as área desmatadas com menor índices de NDVI 0,11 (manchas em azul). (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

5.12 Análises de dados quantitativos da vegetação com uso do NDVI e sua relação com efeito estrada no eixo rodoviário Sul da Zona de Amortecimento

Por conta dessa escala abrangente, os índices de NDVI não enfatizaram com veemência a redução da Caatinga como se observa na tabela 9. Porém, com a redução da escala espacial para recortes menores, e exclusão de áreas denudacionais de segundo táxon, tendo como alvo os eixos rodoviários, fica clara a redução de vegetação, o que se pode atestar em campo.

Analisando os dados da Tabela 9, representados por medidas de tendência central através dos valores mínimo, máximo, moda e média, foi possível elucidar o que de fato ocorreu na vegetação próxima às bordas de estradas. O valor **mínimo** do NDVI, em 2001 era 0,16, valor que espacialmente era o mais baixo que se poderia encontrar em todo o recorte espacial da figura 55. Curiosamente é um valor muito distante da média aplicada à Caatinga - 0,29 (LIU, 2006), o que significa dizer que a cobertura vegetal encontrava-se degradada; em 2007 esse intervalo de NDVI aparece aumentado em 12,5% sendo elevado para 0,18, corroborando uma hipótese de excesso hídrico, uma vez que a visita em campo mostrou um aumento de atividades agrárias.

Tabela 9: Análise comparativa dos valores de NDVI do setor sul da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau

NDVI	2001	2007	Excesso Hídrico
Maximo	0,70	0,70	-
Mínimo	0,16	0,18	12,5%
Moda	0,34	0,67	85.4%
Média	0,38	0,64	54.3%

(Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

O valor **máximo** encontrado espacialmente em 2001 (0,70) foi mantido em 2007. Em geral, trata-se de áreas onde caatinga arbórea é distribuída, principalmente nas formas de relevo associadas à altitude de 900 m. São formas denudacionais de terceiro táxon, que não puderam ser excluídas do recorte, são os casos das serras do Pinga e da Pedra do Elefante (morros testemunhos em arenito), mas que foram importantes na analogia.

Por sua vez, a **moda** valor que ocorre com maior frequência, é um dado importante uma vez que só ocorre quando os dados amostrais são acima de cinquenta. Isso significa que os valores de NDVI presentes nos recortes de 2001 e 2007 possuem mais de cinquenta

amostragens. Assim, no universo de 2001 que tinha como menor intervalo 0,34 de NDVI deve ser considerado o excelente, uma vez que é próximo da média atribuída à Caatinga (LIU, 2006). Porém, em 2007 o valor mais repetido é 0,67, um valor muito acima da média encontrada na literatura. Isto significa que a **moda** de 2007 aumentou 84,5%, indicando um aumento de área sujeitas a excesso hídrico nos locais de cultivo, uma vez que este intervalo de NDVI não é aplicado a Caatinga.

Por fim, a média, que se trata de uma tendência central e expressa o somatório de todos os elementos da série, divididos pelo número total do NDVI. Assim, percebe-se que em 2001 a média geral da cobertura vegetal era 0,38. Vale ressaltar que a média é um número de referência e que não se distribui espacialmente, nem representa regeneração da Caatinga. Por isso, esse dado variou para menos de 54,3% e esses valores, sem uma verificação em campo, podem dissimular o que de fato aconteceu vindo assim obscurecer as reais mudanças ambientais, como ocorridos com a cobertura vegetal em 2007. Desse modo, uma leitura que se resume aos dados quantitativos e sem confirmação de campo pode induzir à interpretação de que a vegetação está passando por um processo de regeneração, quando na verdade existe mudança de uso de solo para fins agrícolas e outros usos econômicos, alimentado pelas privilegiadas condições de relevo e precipitações pluviométricas e, principalmente, quando localizados nas proximidades das estradas, onde se registrou maior redução de cobertura vegetal.

Os histogramas de frequência do NDVI (Figuras 56 e 57) mostram nitidamente a mudança na vegetação do setor sul, cujas barras verticais encontravam-se distribuídas de maneira mais uniforme e, a assimetria era mais equilibrada e distribuída em torno do eixo central de NDVI 0,35, o que mostra uma situação de pouca intervenção humana. Ao contrário, em 2007, as barras se distribuem em diversas variantes elucidando uma vegetação menos uniforme e com valores bastante diversificados e bem acima da média, elucidando a intervenção do ser humano.

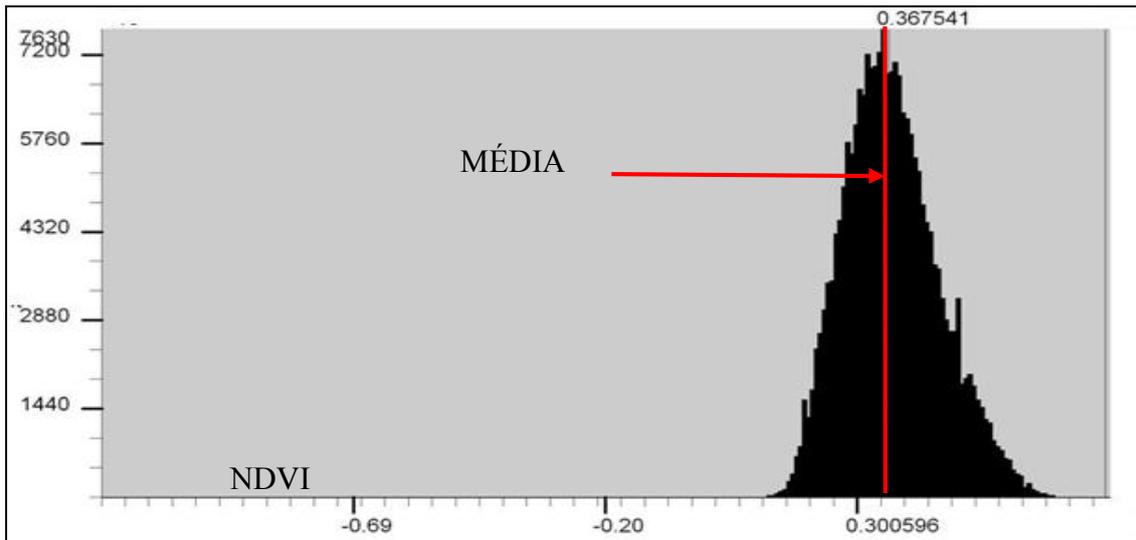


Figura 56: Histograma do eixo sul da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau (2001). A coluna de números à esquerda mostra a variação dos pixels. Estes, quanto maiores mais vegetação. Os números horizontais representam os níveis de NDVI registrados pelo sensor. As colunas verticais se distribuem em uma boa faixa de NDVI tendo como centro a média de 0,36. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

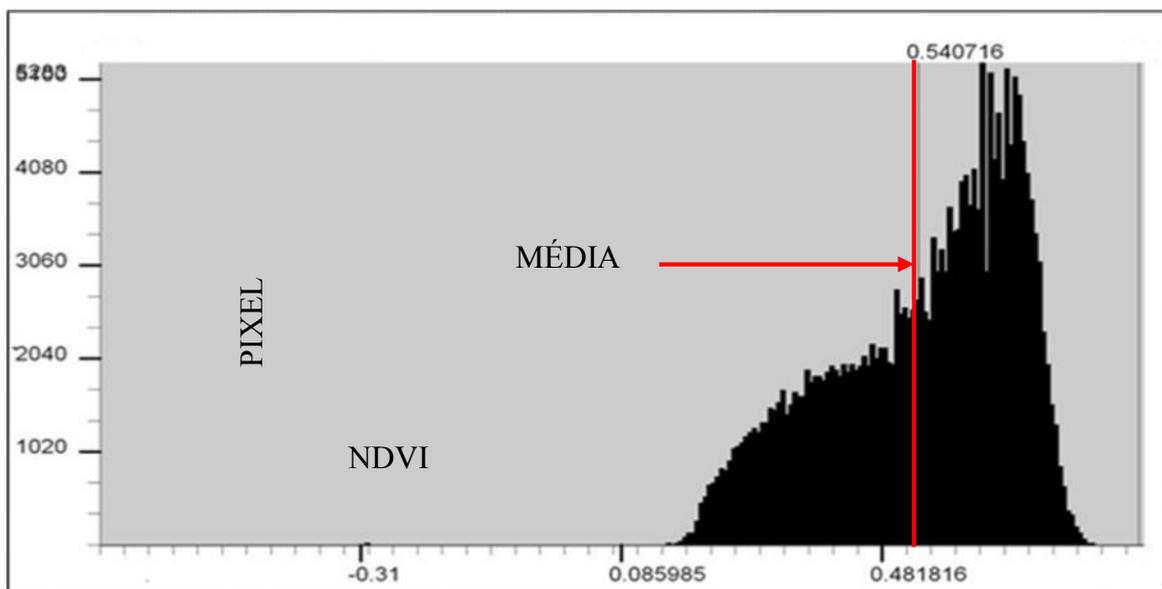


Figura 57: Histograma do eixo sul da Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau (2007). Observa-se que houve um aumento na base da pirâmide e o NDVI teve uma distribuição mais irregular. Essa variação se deve ao fato da área ser de exploração agrícola e grande variação de plantações. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

Em campo, verificou-se a redução da Caatinga, que aparece como mancha azul representada por $NDVI\ 0,11 < 0,20$, o qual se atribui ao efeito estrada. A figura 60 mostra a área em torno do morro testemunho “Pedra do Elefante” contornada por Caatinga em 2001. Quatro anos depois da criação do Parque Nacional do Catimbau, inicia-se o desmatamento para plantio de cajueiro (Figura 59).

Em 2007 a mesma área (Figura 60) já está tomada pela presença uma nova cobertura vegetal, criando uma paisagem dominada pela monocultura de cajueiros. Essa área tinha em

2001 um NDVI de $0,20 < 0,30$ (ciano), intervalos muito próximos ao NDVI atribuído a Caatinga (LIU, 2006). No cume da Pedra do Elefante não houve degradação. Mas o excesso hídrico do entorno, elevou seus intervalos de NDVI que na média apresentou 0,70, e tornou-se um fragmento isolado de caatinga. Esses fluxos tendem a crescer; soma-se, ainda, o surgimento da Vila do Bem (Figura 63) que vem contribuindo para aumentar os fluxos econômicos nessa área, possibilitando um aumento do efeito estrada em futuro próximo.



Figura 58: A Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau em 2001, nas áreas próximas à Pedra do elefante ($37^{\circ}13'50''W$ e $8^{\circ}36'49''$), tinha uma cobertura vegetal de Caatinga bastante conservada (ao fundo) com valor de NDVI de 0,31. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2000).



Figura 59: Em 2004 uma grande clareira é aberta nas coordenadas S.08°36'12"W. 37°13'49" próximo à Pedra do Elefante. Inicia-se o desmatamento da para plantio de cajueiros (*Anacardium occidentale*). (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2004).



Figura 60: Em 2007, próximo à vicinal do Catimbau a caatinga é retirada para o plantio de cajueiros. (Autor: Natalício de Melo Rodrigues, 2009).

6. RECOMENDAÇÕES

- Considerando os potenciais negativos ambientais que abrangem a inserção de uma estrada em suas fases de planejamento, construção, operação e sua consequente manutenção, recomenda-se:
- A colocação nas rodovias que circunda o PNC, placas de advertência A-36 (Anexo 1).
- Exigência por parte das secretárias de obras e finanças dos municípios que se encontram localizada na área da ZA do PNC, a emissão e liberação de licenças de construção de qualquer natureza (residencial, industrial, comercial, ou colocação de *outdoors*, estruturas de transmissão de dados ou imagens, entre outras atividades impactantes), somente após apresentação de Estudos de Impactos Ambientais – EIA, e Relatórios de Impactos Ambientais – RIMA, conforme resolução CONAMA nº237 DE 19/12/1997.
- Maior fiscalização da área, solicitando reforço de Órgãos Ambientais de competência Estadual e Federal.
- Saneamento da Vila do Catimbau;
- Remoção do lixão localizado no sítio Cigano, que além ser inadequado por se encontrar em área de preservação ambiental, tem sido o foco de dispersão de resíduos sólidos na ZA e área do PNC.

7. CONCLUSÕES

Face aos dados obtidos, conclui-se que: na ZA do PNC estrada apareceu como um elemento fragmentador de habitats, e que sua inserção, resultou em impactos ambientais, e produziu intensas modificações na matriz, que se manifesta nas alterações de paisagem, fenômeno denominado *efeito estrada*.

Na condição de elemento fragmentador de habitats sob a denominação de efeito estrada, leva ao questionamento se de fato o termo *corredores* deve continuar sendo aplicada a estrada, situação conceitual comumente citada na literatura da Ecologia da Paisagem, uma vez que o mesmo tende a escamotear os aspectos negativos que se relacionam diretamente às estradas, viabilizando motivações embrionárias para o crescimento de vilas e pequenos distritos.

O uso do sensoriamento remoto na pesquisa para observação do efeito estrada foi positivo, principalmente quando se considera em lidar com objeto de grande escala espacial. O mesmo se pode afirmar do seu uso quando há necessidade de analisar a escala temporal de monitoração da vegetação. No entanto, a certificação dos dados em campo impede interpretações mascaradas por ações humanas modificadoras do ambiente.

O uso do NDVI contribuiu bastante para detectar o efeito estrada, e afirmar que de fato existe forte relação entre a diminuição da vegetação e as bordas das estradas ou rodovias, além de uma relação direta com o processo de fragmentação e conseqüente efeito de borda, mas são processos que aparecem como um fenômeno único aqui denominado efeito de estrada, e não separados como tem sido mencionado na literatura.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, Aziz. N. **Os domínios de Natureza no Brasil - Potencialidades Paisagísticas**: 3ª edição. São Paulo: Atelier Editorial, 2007.
- ANDRADE, M.C. **A Terra e o Homem no Nordeste – Contribuição ao Estudo de Questão Agrária do Nordeste**. São Paulo: Atlas, 1999.
- BONASSA, TANIA LUIZA. **Estrada do Colono Ações e Práticas Discursivas na Relação Homem com a Natureza no Parque Nacional do Iguaçu**. Tese (Mestrado). Curitiba: UFPR. 2004.
- BUREL, F.; BAUDRY, J. **Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones**. Madrid: Mundi-Prensa. 2002.
- CARMODY, C. Loss of insectivorous birds along a gradient of humans in Amazonian. **Biological Conservation**, vol 77: 63-77. 1996.
- CASTRO, I.; GOMES, P.C. CORRÊA, R.L.; **Geografia Conceitos e Temas**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2002.
- CASTRO, Iná; GOMES, Paulo César Costa; CORREIA, Roberto Lobato. **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2000.
- CORRÊA, A.C.B. Projeto Graciliano Ramos: **A Geografia Física; Uma Pequena Revisão Histórica. Curso de Atualização Docente em Geografia**. Secretaria de Educação de Pernambuco - Seduc/PE, British Council. Recife: UFPE, UFRPE. 2005.
- DAUGHTRY, C. S. T., et al. **Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance**. Remote Sensing Environment, v.74, p.229 – 239, 2000.
- DIAMOND, J.M. The Island: lessons of modern biogeographic studies for design of. Nature reserve. **Biological Conservation**, V.7.p.129-46, 1975.

DENES, F. Caracterização da Pressão Antrópica no P.N. de Sanit Hilaire/Lange. Curitiba-PR. MMA. 2006.

FLOGIATTI, M.C, FILIPO, S.O.; GOUDARD. **Avaliação de Impactos ambientais. Aplicação ao Sistema de Transporte.** São Paulo: Editora Interciência, 2004.

FORMAN, RICHARD. T. T.; GODRON, M. Patches and structural components for landscape ecology. *BioScience*. v.31, n.10, p.733-740, 1983.

FORMAN, R.T.T. **Road ecology: A solution for the giant embracing us.** *Landscape Ecology* **13**,iii-v. 1998.

FORMAN, R.T.T.; DEBLINGER, R.D.. Estimated of the area affected ecologically by the roads system in the United States. USA: **Conservation Biology** v. 4:31 – 35. 1998.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Land scape ecology.** USA. New York: John Wiley ; Sons, 2000

FORMAN, R.T.T. *et al.*, **Road Ecology – Science and Solutions.** USA. Washington D.C: Island Press. 2003.

FORMAN, R.T.T.; DEBLINGER, R.D. The ecological road –effect Zone of a Massachusetts Suburban Highway. USA: **Conservation Biology** 14:36-46. 2003.

FRANCO, E. **Fogo no Chão.** Revista Galileu. Rio de Janeiro: Editora Globo, Junho. 2006.

FREIRE, R.S.; BALLESTER, M.V.R. **Análise histórico-comparativa das variações no uso e cobertura do solo na bacia do Jamanxim devido à influência da rodovia BR-163, estado do Pará, Brasil.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis: INPE, p.6740-6748. 2007

GALO, M. L. B. T.; NOVO, E. M. L. M. (1998). **Índices de paisagem aplicados à análise do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno**. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos: INPE/SELPER, 1998.

CAMARGO, José Eduardo. **Guia Rodoviário 2008**. São Paulo, Editora Abril, 2008. O, O

HOBBS, R. J.; et al. **Changes in Biota**. In: HOBBS, R. J.; SAUNDERS, D. A. Reintegrating Fragments Landscapes: towards sustainable production and nature conservation. New York: Springer, p.65-106. 1991.

HOLBEN, B.N. **Characteristics of maximum – value composite images from the temporal AVHRR data international Journal of Remote Sensing Taylor ; Francis Ltd London, UK.7:1417-1434.1986**

IBAMA. **Roteiro Metodológico para o Planejamento de Unidades de Conservação**. Brasília: 1996, Ibama/GTZ, 110 p.

JACOMINE, P.K.T., CAVALCANTI, A.C., N., PESSOA, S.C.P. & SILVEIRA, C.O. da, Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. Bol. Tec. SUDENE 226:1-175. 1973.

LINS, Raquel Caldas. **Áreas d Exceção do Agreste Pernambucano**. Recife. SUDENE, 1989.

LIMA, S.F.; OBARA, A.T. **Levantamentos de Animais Silvestres Atropelados na BR-277 às margens do Parque Nacional do Iguaçu**: Subsídios ao Programa do Meio Ambiente da Concessionária Rodovia das Cataratas –Departamento de Biologia – Universidade Estadual de Maringá – Cascavel: UEM, 2007.

LIU, William Tsé Hong. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006.

MAYO, S.J. & FEVEREIRO, V.P.B., Mata de Pau Ferro. A pilot of the brejo forest. London, Royal Botanic Gardens, Kew. 29p. 1982.

MAPA RODOVIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Gerência de Projetos Assistência de Planejamento Rodoviário e Instituto de Pesquisa Rodoviário Divisão de Apoio Tecnológico**. Documentação do PNV. Encarta - Estudos Consultoria e Projetos Ltda, 2001.

MATTEUCCI, S. D. **La cuantificación de la estructura del paisaje**. In: MATTEUCCI, S. D.; BUZAI, G. D. *Sistemas ambientales complejos: herramientas de terrazo especial*. Buenos Aires: Universitária. P.271-292. 1998

MADER, H.J. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. **Biological Conservation**. V. 29(1): 81-96. 1981.

METZGER, J.P. O que é ecologia da paisagem. Laboratório de Ecologia da Paisagem – LEPaC –Departamento de Ecologia da Paisagem, Instituto de Biociência –USP. São Paulo – SP. 2001.

MENESES, P.R.; NETO, J.S.M. **Sensoriamento remoto: refletância dos alvos naturais**. Planaltina – Brasília: UnB, 2002.

MORAN, M.S. et. al. A Refined Empirical Line Approach for Reflectance Factor Retrieval from Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+. **Remote Sensing Environment**, v.78, p. 71-82, 2001.

MORSELLO, C. **Áreas Protegidas e Privadas – Seleção e Manejo**. Annablume, FPESP São Paulo, Brasil.2001.

NOGUEIRA, M.J. de S ., MARTINS, M.L.R., SOARES, Z.M.L., FREITAS FILHO, M.R., ALMEIDA, M.A.G. de, SAMPAIO, M.A.B., CARVALHO, G.B. de S., SOARES, A M. R., GOMES, S.C.B. & SILVA, E. de A., 1994. Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da desertificação. Redimensionamento da Região semi -árida do Nordeste do Brasil. FUNCEME, Fortaleza.

NOSS, R. **The Ecological Effects of Roas**. Tilbury Brighton – UK: 2007.

ODUM, E.P. ; BARRETT, G.W. **Fundamentos de Ecologia**. Thompson, 5ª edição. São Paulo: 2007

PEREIRA, A.P.F.G; ANDRADE, F.A.G; FERNANDE; M.E.B. **Dois anos de monitoramento dos atropelamentos de mamíferos na rodovia PR – 458, Belém Pará**. Bol. Mus.Emilio Goeld.Ciências Naturais,v.1.n.3.p.77-83. Set-dez.2006.

PRADO,J.; PACIENCIA,M.L.B. Efeito de borda sobre a comunidade de pterodofitas na Mata Atlântica do Região do Una, sul da Bahia,Brasil. **Revista de Brasileira Botânica**.v.27..p.641-650.out-dez.2004.

QUEIROGA, J.L.; RODRIGUES, E. Efeito de borda em fragmentos do Cerrado em áreas de agricultura no Maranhão, Brasil. Laboratório de Ecologia de Paisagem.U.E de Londrina.PR.2000.

RAMBALDI, D.M.; OLIVEIRA, A. S. **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeito sobre a biodiversidade e recomendação de políticas publicas**. Brasília: MMA, 2003.

RODAL, M.J.N., ANDRADE, K.V.S., SALES, M.F. & GOMES, A.P.S., Fitossociologia do componente lenhoso de um refúgio vegetacional no município de Buíque, Pernambuco. *Revista Brasileira de Biologia*. 58: 517 – 526. 1998.

RODRIGUES, N.M. **Potencialidades e Impactos Ambientais no Parque Nacional do Catimbau e sua Zona de Amortecimento**. Dissertação de Mestrado. MGPA. UFPE. Recife: 2006.

RODRIGUES, N. M., MOTA-FILHO, F. O., PEREIRA, E. C. G. **Potencialidades turísticas e riscos ambientais no Parque Nacional do Catimbau** In: Turismo, sociedade e espaço. Por uma reflexão interdisciplinar.1 ed.Recife : Editora UFPE, 2008, v.1, p. 1-14.

RODRIGUES, N. M., MOTA-FILHO, F. O., PEREIRA, E. C. G. **Impactos ambientais na Zona de Amortecimento do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil**. In: Actas do VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física II Seminário Ibero-Americano

de Geografia Física. Coimbra. pg.1-13. 2010.
<http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/natalicio>

ROSS, J.L.S. O Registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do Relevo; **Revista do Departamento de Geografia**, n.6. São Paulo: FFLCH, pg.17-29, 1992.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W., **Monitoring vegetation in the Great Plains with ERTS**. Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA. NASA SP-351, v.1.309-317.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado, fundamentos Teórico e metodológico da geografia**. São Paulo: Hucitec, 1998.

SANTOS, M. **O Brasil Territórios no Início do Século XXI**. Rio de Janeiro: Record, 2005.

SANTOS, A.; TABARELLI, M. Distance from roads and cities as a predictor of habitats loss and fragmentation in the caatinga vegetation of. Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. 62 (4B):897-905. 2002.

SOULÉ, M.E. **Conservation biology: the science of scarcity and diversity**. Sunderland: Sinauer Associates, 1986.

S.N.E. **A Sociedade Nordestina de Ecologia. Projeto Técnico para a Criação do Parque Nacional do Catimbau/PE** versão final, em cumprimento ao Contrato n ° 086-00/02, Subprojeto Proposta para Criação do Parque Nacional do Catimbau/PE . 2002.

SCHONEWALD-COX; BUECHER, M. **Park Protection and Public Roads**. In: Fielder, P.L., Jain, S.K. (Eds) *Conservation Biology – The theory and practice of nature conservations, preservation, and management*. Chapman Hall, New York and London: 1992

TABANEZ, A.J. et al. Consequências da Fragmentação e do Efeito de Borda Sobre a Estrutura, Diversidade e Sustentabilidade de um Fragmento de Floresta de Planalto de Piracicaba: **Revista de Biologia**., 57.(1):47-60. Departamento de Ciências Florestais, Piracicaba-SP. 1997.

TURNER, M. G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematics**. 20:171-197.

TROLL, C. Luftbildplan und ökologische bodenforschung. Berlin: Zeithschrift der Gersellschaft für Erdkunde.1939

VASCONCELOS SOBRINHO, V. As Regiões Naturais do Nordeste. Recife. Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco.1970.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (2002) **Ecorregiões: propostas para o Bioma Caatinga**. Associação Plantas do Nordeste, The Nature Conservancy. Recife. 76p.

VENTURY, L.A.B. **Praticando Geografia técnicas de campo e laboratório**. Oficina de Textos, São Paulo – SP. 2005.

ZAU, André Scarambone, Michelle de Oliveira Ribeiro¹, Wallace Beiroz Imbrosio da Silva, Vinícius, Gomes da Costa , Gabriela Akemi Macedo Oda , Jansen Jorge Benício Simões Matos, Aline Silva, Machado e Daniele Andrade de Carvalho. **Efeitos de Borda decorrente de estrada pavimentadas em um trecho de floresta atlântica, Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil; composição e estrutura física da vegetação até os dez primeiros metros de invasões exóticas**. Rio de Janeiro: I Encontro IALE-BR, 2007.

ANEXOS

Anexo 1: Placa de advertência A-36

