

S. S. CAMPOS



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

SIMONE DE SOUZA CAMPOS

CONTRIBUIÇÕES DA TEORIA ECOLÓGICA PARA O
LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE ESTRADAS

SALVADOR
2013

2013

SIMONE DE SOUZA CAMPOS

CONTRIBUIÇÕES DA TEORIA ECOLÓGICA PARA O LICENCIAMENTO
AMBIENTAL DE ESTRADAS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aplicada à Gestão Ambiental, no curso de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada à Gestão Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Boscolo

SALVADOR
2013

C186c Campos, Simone de Souza.

Contribuições da teoria ecológica para o licenciamento ambiental de estradas / Simone de Souza Campos. – Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2013.

94 p. : il. color.

Orientador: Danilo Boscolo.

Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

Bibliografia: p. 87-94.

1. Ecologia. 2. Política ambiental. 3. Meio ambiente. I. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Biologia. Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento. II. Boscolo, Danilo. III. Título.

CDD 363.7

TERMO DE APROVAÇÃO

SIMONE DE SOUZA CAMPOS

CONTRIBUIÇÕES DA TEORIA ECOLÓGICA PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE ESTRADAS

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aplicada à Gestão Ambiental, no curso de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada à Gestão Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento, Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Danilo Boscolo
Orientador – Departamento de Biologia, Faculdade de Filosofia
Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São
Paulo.

Prof. Dr. Luciano Elsinor Lopes
Departamento de Ciências Ambientais, Centro de Ciências
Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Pedro Luís Bernardo da Rocha
Departamento de Zoologia, Instituto de Biologia, Universidade
Federal da Bahia.

Salvador, 06 de dezembro de 2005

RESUMO

O licenciamento ambiental de estradas tem se pautado numa avaliação subdimensionada dos impactos destas estruturas e seus efeitos sobre os processos ecológicos. Apesar disso, o processo de licenciamento é complexo, moroso e implica numa gama de estudos e exigências excessivamente dispendiosas, tanto para empreendedores quanto para o órgão licenciador, sem que isso resulte, contudo, em eficiência e qualidade ambiental. Como resultado, desde a concepção, os projetos apresentam proposições insuficientes e oferecem alternativas pouco efetivas para a implantação e operação de estradas ambientalmente mais amigáveis.

Pressupondo que a aplicação da ciência ecológica é um suporte indispensável ao planejamento ambiental e que o licenciamento é um importante instrumento neste contexto, este trabalho traz a análise do processo de licenciamento de uma estrada federal considerada modelo de gestão ambiental pelo empreendedor. Essa análise revelou uma importante lacuna no licenciamento de estradas: o processo falha ao não alcançar o cerne dos impactos ambientais, ou seja, não aponta como as estradas interferem nos processos ecológicos e, sem compreender tais interferências, acaba por não propor medidas efetivas para evitá-las ou minimizá-las. Buscando contribuir para o preenchimento dessa lacuna, foi proposto um método, aplicável ao planejamento do licenciamento de novas estradas ou à regularização e renovação de licenças ambientais daquelas já existentes, que pode ser empregado sem que se exija, necessariamente, que sejam feitas alterações em normativas nem que se adote uma estrutura diferente daquela comumente utilizada para a elaboração de estudos ambientais.

A incorporação da teoria ecológica aumenta a efetividade e eficiência do licenciamento, permitindo que o real impacto de uma estrada seja identificado e avaliado e, conseqüentemente, dá o suporte apropriado à proposição e definição das medidas de mitigação e adequadas e bem dimensionadas, com perspectiva de ganhos para a conservação ambiental, sem aumentar a complexidade do processo. Ao contrário, essa prática pode resultar em processos mais objetivos, baseados em premissas defensáveis e previamente conhecidas pelas partes interessadas, racionalizando procedimentos e contribuindo para a redução do dispêndio de recursos.

Palavras-chave: “ecologia de estradas”, “ecologia de paisagem”, “impactos ambientais”, “licenciamento ambiental”.

ABSTRACT

Although expensive and complex, the process for granting environmental licenses for roads and highway building and operation in Brazil has proved itself inefficient, since it underestimates the impacts brought by those structures on ecological process.

The licensing process is complex and slow, requiring expensive procedures and studies from both entrepreneurs and license agencies. Its effects, however, are unable to assure efficiency on environmental quality protection. As a result, road and highway building projects exempt themselves from planning or considering environmental friendly alternatives on their conception. This study analyses the licensing process of a Federal Highway reputed by its builder as a model for environmental management. My analysis is based on the assumption that Ecological Science should establish the essential fundamentals for environmental planning. In this context, environmental licensing is an important tool.

On this case we studied, we've first found an important omission in the licensing process. It failed in assessing or even spotting the core of the coming impacts brought by the roads: how roads interfere on the ecological process and what we can do to comprehend it and avoid or minimize this interference. After that, this study proposes a method to improve the environmental licensing process for future enterprises and also for regularization and licenses renewal processes, in order to close this gap.

If adopted, the Ecological Theory will increase effectiveness and efficiency on identifying the actual environmental impacts brought by roads and therefore give proper support to the task of designing the necessary mitigation measures. It also improves the monitoring process, assuring gains for environmental conservation.

On the other hand, the adoption of Ecological Theory does not increase the complexity of licensing. Rather, this practice can result in a more objective process, since their rules will be previously known by all role players.

Keywords: "environmental impacts", "environmental licensing", "landscape ecology", "road ecology".

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de vegetação e usos do solo na área de influência indireta do empreendimento de duplicação da BR-101 Sul.	14
Figura 2 – Etapas do licenciamento ambiental federal, destacando as etapas do planejamento do processo.	16
Figura 3 – Diagrama dos impactos negativos das estradas sobre os meios físico e biótico, segundo a teoria ecológica	21
Figura 4 – Diagrama dos impactos negativos da duplicação da BR-101 Sul sobre os meios físico e biótico, descritos no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e no Plano Básico Ambiental (PBA) do empreendimento	23
Figura 5 – Dimensões espaciais e temporais dos efeitos ecológicos de estradas	39
Figura 6 – A abordagem em cinco etapas para avaliar efeitos ecológicos de estradas, definir medidas de gestão que minimizem o seu impacto ecológico e orientem o planejamento da elaboração de projetos e o licenciamento ambiental de estradas, tendo como base a teoria ecológica.	51
Figura 7 – Zona de efeito das estradas e três mecanismos determinando sua largura e forma	57
Figura 8 – Padrões espaciais da distribuição de manchas de perturbação em redes de cursos d'água associadas estradas	59
Figura 9 – Efeito ecológico da localização das estradas em relação aos habitat e espécies raras	63
Figura 10 – Efeitos ecológicos da localização das estradas em relação à rede hídrica	64
Figura 11 – Efeitos ecológicos da localização das estradas em relação à presença de manchas e corredores de habitat natural	64
Figura 12 – Efeitos ecológicos da localização das estradas em relação à topografia	65
Figura 13 – Densidades de estradas no Brasil, por Unidade da Federação	71
Figura 14 – Densidades de estradas no Brasil, por região política	71
Figura 15 – Paisagem hipotética ilustrando acessibilidade do habitat	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Impactos da duplicação da BR-101 Sul identificados no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da BR-101 Sul, com indicação dos elementos de interesse neste trabalho	.....	17
Tabela 2 – Programas e subprogramas do Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul, com indicação dos elementos de interesse neste trabalho	.....	18
Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul	.....	25
Tabela 4 – Avaliação e classificação dos impactos ambientais no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da duplicação da BR-101 Sul, quanto à natureza e significância	.....	41
Tabela 5 – Confrontação entre algumas medidas de mitigação para os impactos das estradas descritas na literatura científica e no licenciamento da duplicação da BR-101 Sul	.....	44
Tabela 6 – Impactos das estradas sobre o meio físico e biótico passíveis de mitigação, segundo a literatura científica, contemplados dentre as medidas de mitigação propostas no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e nos programas e subprogramas do Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul	.....	47
Tabela 7 – Rede do Sistema Nacional de Viação, existente e planejada, e densidades de estradas no Brasil, por UF e região	.....	70

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1. OBJETO E ENFOQUE ESPECÍFICO DAS ANÁLISES	13
2.1.1. O empreendimento – breve caracterização	13
2.1.2. Etapas do processo de licenciamento	15
2.1.3. Estudos e programas ambientais	17
2.1.4. Documentação gerada pelo órgão licenciador	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
3.1. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS ABORDAGENS TEÓRICO-CIENTÍFICA E DO LICENCIAMENTO DA BR-101 SUL QUANTO AOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ESTRADAS	20
3.1.1. Identificação e avaliação dos impactos	20
3.1.2. Alcance dos impactos	38
3.2. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS ABORDAGENS TEÓRICO-CIENTÍFICA E DO LICENCIAMENTO DA BR-101 SUL QUANTO ÀS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO E MONITORAMENTO DOS IMPACTOS DAS ESTRADAS	43
4. PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES BÁSICAS E MÉTODOS PARA A CONDUÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE LICENCIAMENTO DE ESTRADAS, A PARTIR DE CONCEITOS TEÓRICOS CIENTÍFICOS	50
5. AS POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO PRÁTICA DA TEORIA ECOLÓGICA PARA O LICENCIAMENTO DE ESTRADAS – ALGUNS EXEMPLOS – E A PRÁTICA ADOTADA NO CASO EM ANÁLISE	55
5.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO EMPREENDIMENTO	55
5.1.1. Elementos teórico-científicos aplicáveis	55
5.1.1.1. A zona de efeito da estrada	56

5.1.1.2. O modelo conceitual de interações entre redes de estradas e redes hídricas	58
5.1.2. A delimitação da área de influência da BR-101 Sul	61
5.2. AVALIAÇÕES E DECISÕES QUANTO AO TRAÇADO DA ESTRADA	62
5.2.1. Elementos teórico-conceituais aplicáveis	62
5.2.1.1. Aplicação da zona de efeito e do modelo de interações estrada-sistema hídrico	62
5.2.1.2. Outros conceitos relacionados à localização da estrada em relação à rede hídrica, manchas de habitat, topografia e espécies e habitat raros	63
5.2.2. Decisões quanto ao traçado da BR-101 Sul	65
5.3. AVALIAÇÕES INTEGRADAS SOBRE A DELIMITAÇÃO DE ÁREA DE INFLUÊNCIA, LOCALIZAÇÃO DA ESTRADA E EFEITOS NA PAISAGEM	66
5.3.1. Conceitos teórico-científicos aplicáveis	67
5.3.1.1. Rede e densidade de estradas	67
5.3.1.2. Medida de acessibilidade do habitat	73
5.3.2. Avaliações do licenciamento da BR-101 Sul para a delimitação da área de influência do empreendimento, localização da estrada e seus efeitos na paisagem	75
6. COMENTÁRIOS ADICIONAIS SOBRE O LICENCIAMENTO DA BR-101 SUL	79
7. CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS	87

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre como conter a degradação de estradas¹ pelas forças da natureza cresce se aprimora há mais de um século. Contudo, apenas há três décadas se reconhece que estas estruturas, ao fragmentar a paisagem, degradam a natureza, ao mesmo tempo em que se busca compreender de que forma estes impactos ocorrem e como é possível mitigá-los (FORMAN et al., 2003).

Nos Estados Unidos, onde 1% do território se encontra ocupado por estradas e suas faixas de domínio, estima-se que os efeitos destas estruturas podem afetar ecologicamente cerca de 20% da área total daquele país (FORMAN e ALEXANDER, 1998; FORMAN, 2000; FORMAN, REINEKING e HERSPERGER, 2002). Visto que as estradas representam a maior extensão dentre os empreendimentos lineares implantados no Brasil (DNIT, 2013a), a natureza e alcance dos impactos ambientais das estradas brasileiras, portanto, merece atenção. Para tanto, é fundamental contar com o suporte da ciência, em especial da ecologia de estradas, que, fortemente calcada nos conceitos da ecologia da paisagem, vem buscando antecipar e prevenir os impactos negativos destas estruturas, a partir de uma abordagem interdisciplinar que inclui elementos da ecologia, geografia, engenharia e planejamento (FORMAN, 1998; COFFIN, 2007).

Os impactos ambientais da construção, presença e uso das estradas são sentidos no curto e no longo prazo, a pequena, intermediária ou grande distâncias, e mudam de uma perturbação rápida e destrutiva, durante a fase de construção, para uma perturbação crônica e sutil, ao longo da operação da estrada (SPELLERBERG, 1998; FORMAN et al., 2003; COFFIN, 2007). Nem todas as espécies e ecossistemas são igualmente afetados, nem a expressão dos impactos das estradas – e até mesmo de um mesmo impacto – é observada numa única escala espacial e temporal. Porém, a presença e uso de estradas está altamente correlacionada com interferências sobre processos

¹ Neste trabalho, o termo “estrada” se refere genericamente a caminhos pavimentados ou não e não se refere a estradas de ferro. O termo “rodovia”, sempre que utilizado, se refere exclusivamente a estradas pavimentadas.

ecológicos. São alterados, fluxos, dinâmicas e regimes de perturbação natural dos ambientes terrestres e aquáticos, com perda de conectividade, resultando em mudanças na composição de espécies e tamanhos populacionais, redução da resiliência e de funções dos ecossistemas e na perda de biodiversidade (FORMAN e ALEXANDER, 1998; SWANSON et al., 1999; JONES et al., 2000; TROMBULAK e FRISSELL, 2000; CARR, FAHRIG e POPE, 2002; FORMAN et al., 2003; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005; COFFIN, 2007; GOSSEM, 2007; ROEDENBECK et al., 2007; JACKSON e FAHRIG, 2011; LESBARRÈRES e FAHIG, 2012).

Neste trabalho, com base em elementos unicamente conceituais e informações institucionais dos órgãos envolvidos, o objetivo foi investigar como são tratados os impactos negativos das estradas no licenciamento ambiental de um empreendimento rodoviário e como este instrumento, ao incorporar elementos da teoria ecológica, pode ser aprimorado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Avaliar o licenciamento de estradas a partir do processo de apenas um empreendimento impunha a escolha de um caso que fosse considerado modelo na área. Por essa razão, foi escolhido o processo de licenciamento da duplicação da BR-101 no trecho entre Florianópolis, em Santa Catarina, e Osório, no Rio Grande do Sul, denominado genericamente de BR-101 Sul, que, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, responsável pela obra, inaugurou naquele órgão o conceito de gestão ambiental em empreendimentos rodoviários e é considerado modelo para todos os empreendimentos de infraestrutura de transportes sob seu encargo, além de ser referência para o aporte de recursos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) em obras na América Latina (DNIT, 2012; DNIT, 2013a; DNIT, 2013b). Esse empreendimento foi licenciado na esfera federal pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, mediante estudo de impacto ambiental (EIA), com procedimentos iniciados em 1998 e ainda em curso.

Para avaliação proposta neste trabalho, inicialmente foi realizada uma ampla pesquisa à literatura científica, com a sistematização das informações relativas aos principais conceitos teóricos da ecologia de estradas e impactos ambientais das estradas. A maior parte das fontes consultadas foi submetida à avaliação de relevância, através de consultas às bases ISI (*Web of Science*) e Scopus, levando em conta, por exemplo, o impacto dos trabalhos e da própria publicação que o veiculou e o número de citações, dentre outros aspectos que denotam que as mesmas passaram por crivo científico rigoroso.

Depois, no intuito de identificar quais parâmetros foram utilizados no processo de licenciamento para os estudos ambientais e definição dos impactos atribuídos à BR-101 Sul e sua duplicação, foram consultadas e sistematizadas as informações contidas nos documentos gerados pelo IBAMA ao longo do processo e disponibilizados pelo órgão para consulta no seu sítio na internet (IBAMA, 2013a), e nas informações do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do empreendimento (DNER-IME, 1999) e o Plano Básico Ambiental (PBA) a este

vinculado (DNER-IME, 2001). Em ambas as etapas, a pesquisa se restringiu aos aspectos relacionados aos meios físico e biótico.

Os resultados da análise realizada são apresentados seguidos da sua discussão, ponto a ponto, e contêm, além da indicação das fontes consultadas, alguns esclarecimentos prévios adicionais sobre os métodos empregados para avaliação no caso específico, quando necessário. Porém, em termos gerais o método de avaliação tem sempre como base a comparação entre as abordagens da literatura científica sobre a ecologia de estradas e do licenciamento do empreendimento estudado.

Identificadas as principais lacunas do licenciamento, foram formuladas algumas propostas de melhoria nos procedimentos de planejamento da construção, ampliação ou modernização de estradas, que incorporam teoria ecológica e indicam o momento da aplicação dos conceitos e parâmetros teórico-científicos no planejamento de intervenções desta natureza. A isso se segue a apresentação de alguns conceitos ecológicos e a análise da aplicação a algumas etapas do EIA, tendo ainda a BR-101 Sul como exemplo, para uma análise crítica das práticas correntes nestes tipos de estudos.

2.1. OBJETO E ENFOQUE ESPECÍFICO DAS ANÁLISES

2.1.1. O empreendimento - breve caracterização:

Segundo informações contidas no EIA do empreendimento (DNER-IME, 1999), o trecho da BR-101 Sul a ser duplicado (**Figura 1**) tem extensão aproximada de 350 km, atravessa áreas urbanas e, predominantemente no terço central do seu percurso, áreas utilizadas para atividades agropecuárias. A estrada corta transversalmente a rede hídrica de todas as bacias hidrográficas interceptadas, cruzando 46 rios, exercendo ainda influência sobre complexos lagunares, sobre a zona costeira dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e 12 unidades de conservação existentes na área de influência indireta do empreendimento (DNER-IME, 1999). A fauna e flora nativa na região já se encontravam alteradas à época da elaboração do EIA, abrigada em matas secundárias fragmentadas e áreas abertas, havendo o registro do

desaparecimento de algumas espécies locais. A ictiofauna, com elevado grau de endemismo e interesse comercial, era composta de espécies de águas interiores e grupos marinhos tolerantes a ambientes de água doce ou salobra dos estuários e sistemas lagunares (DNER-IME, 1999).

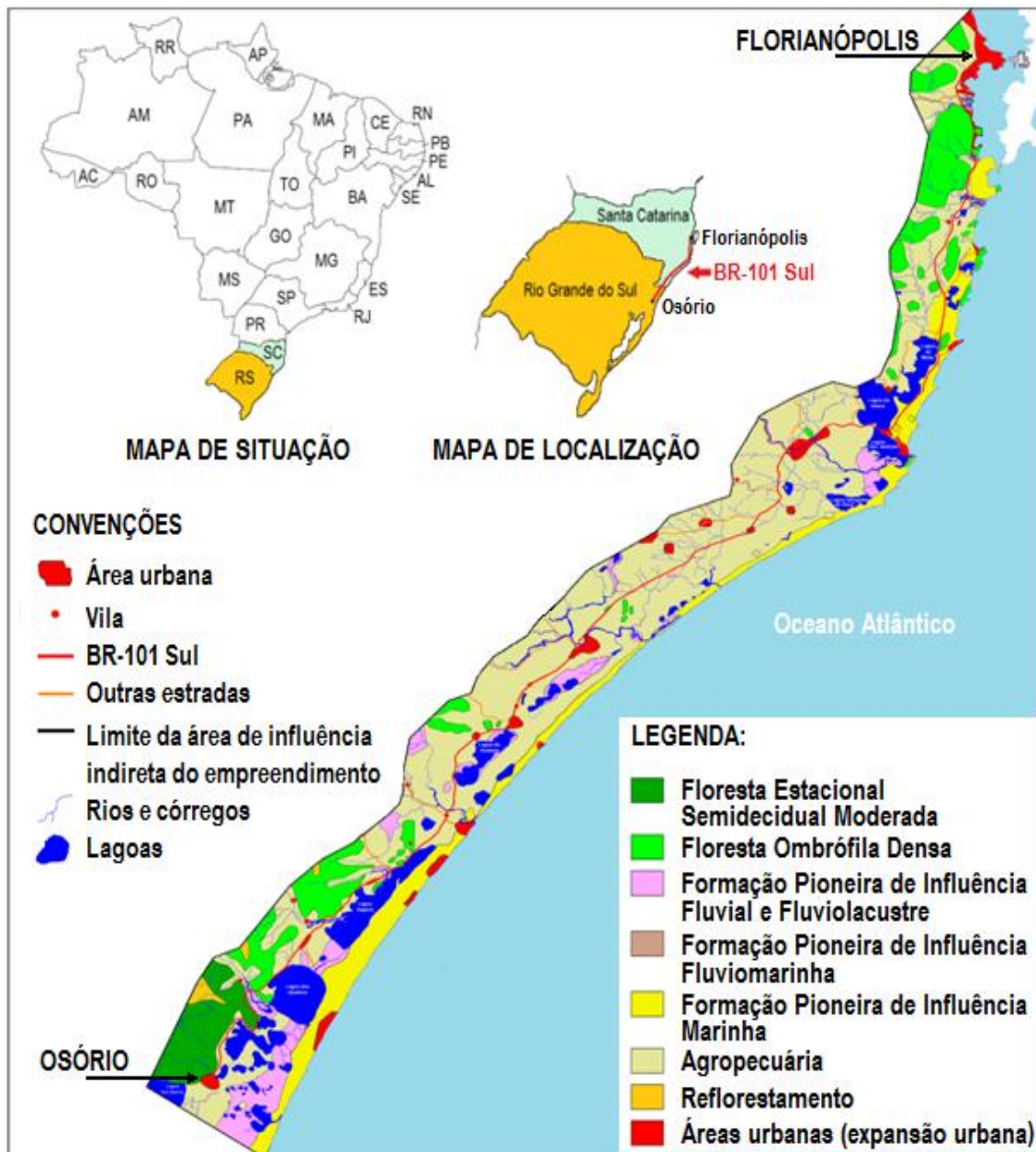


Figura 1 – Mapa de vegetação e usos do solo na área de influência indireta do empreendimento de duplicação da BR-101 Sul. Adaptado a partir dos Mapas de Vegetação e Uso Atual dos Solos, volume 4, anexo IV do Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento (DNER-IME, 1999).

Em termos gerais, a obra de duplicação da BR-101 Sul implica na construção de uma nova pista, na maior parte do percurso dentro da faixa de domínio², da rodovia, separadas por um canteiro central ou barreiras de concreto (separador rígido), além da recuperação da pista existente. Está previsto o aumento da velocidade de trânsito dos veículos e do volume de tráfego, embora em taxas não estimadas no EIA (DNER-IME, 1999). A obra também incluía a construção de novas pontes, viadutos e túneis, dentre outras intervenções.

2.1.2. Etapas do processo de licenciamento:

O foco deste trabalho se atém às etapas de planejamento do processo do licenciamento, o que se inicia com a apresentação do projeto conceitual do empreendimento e termina com a emissão da licença de implantação (LI), identificadas e em destaque na **Figura 2**, que resume as etapas do licenciamento ambiental federal.

A **Figura 2** permite visualizar como se entrelaçam as etapas do planejamento da intervenção, a cargo do empreendedor, e do licenciamento do empreendimento pretendido, sob a responsabilidade do órgão ambiental.

O Temo de Referência (TR), emitido pelo órgão licenciador a partir de informações básicas sobre o empreendimento, e a Licença Prévia (LP), que aprova a viabilidade ambiental do projeto de implantação, alteração ou ampliação de um empreendimento, ambos acabam por influenciar decisivamente na definição da feição que terá a intervenção a ser licenciada. Isso porque o TR é o documento orientador para a elaboração e definidor do conteúdo dos estudos ambientais que serão elaborados pelo empreendedor, enquanto a LP autoriza a localização e concepção tecnológica, estabelecendo as condições a serem consideradas no desenvolvimento do projeto executivo (IBAMA, 2013a).

² Neste trabalho se adotará a definição de faixa de domínio dada pela Portaria nº 420, de 26 out. 2011 (MMA 2011): área "(...) constituída por pistas de rolamento, obras de arte especiais, acostamentos, dispositivos de segurança, sinalização, faixa lateral de segurança, vias e ruas laterais, vias arteriais locais e coletoras, demais equipamentos necessários à manutenção, fiscalização, monitoramento, vigilância e controle, praças e demais estruturas de atendimento aos usuários.

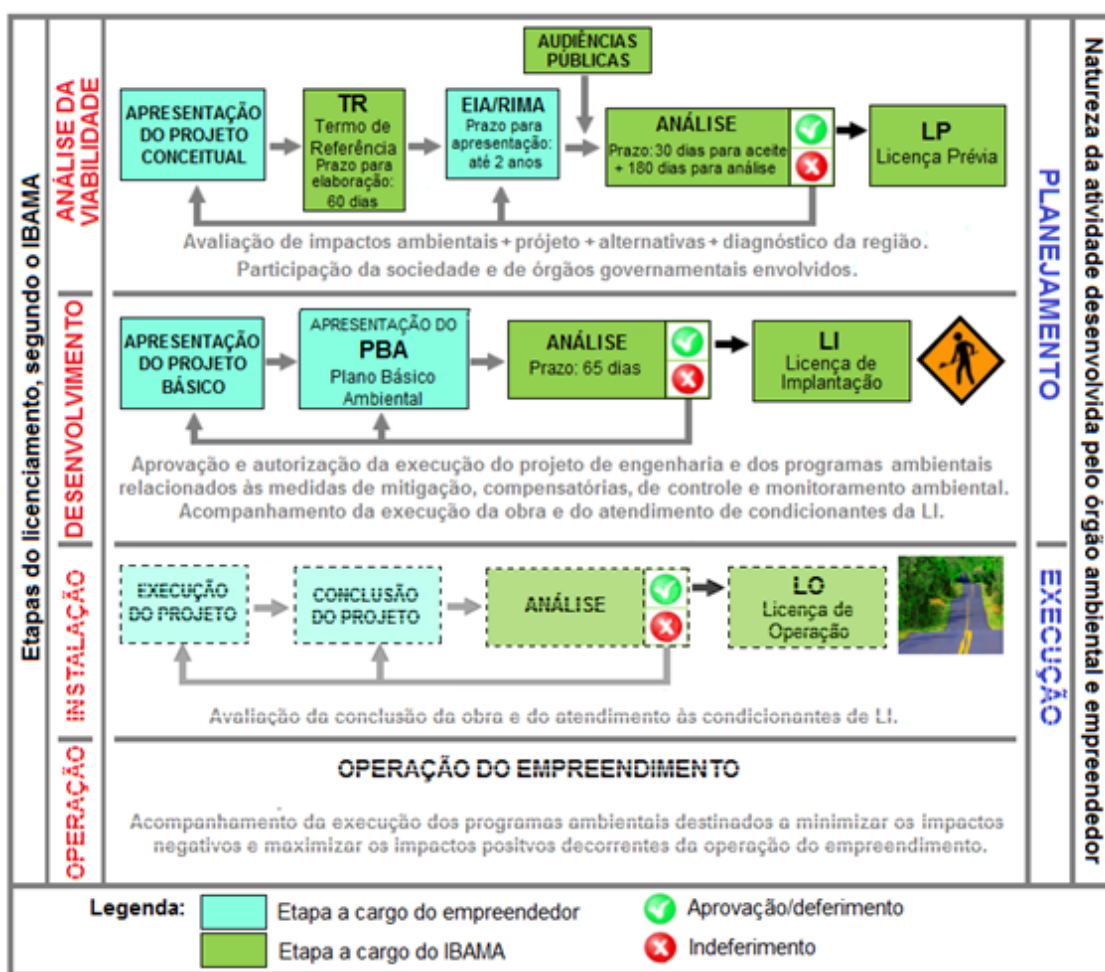


Figura 2 – Etapas do licenciamento ambiental federal, destacando as etapas do planejamento do processo.

Fontes: Elementos extraídos de apresentações do IBAMA no I Seminário sobre as perspectivas do processo de licenciamento ambiental para os empreendimentos do setor de transportes (IBAMA, 2013b; IBAMA 2013c), com modificações, e Instrução Normativa IBAMA nº 184/2008 (IBAMA, 2008).

A licença de implantação, por sua vez, é precedida e tem como requisito principal para sua emissão a apresentação e aprovação do projeto básico do empreendimento e do Plano Básico Ambiental (PBA), que reúne os programas ambientais voltados para a mitigação de impactos negativos e otimização dos impactos positivos do empreendimento, o monitoramento dos impactos e da eficiência das medidas propostas, tudo definido a partir do estudo ambiental aprovado na fase de análises para emissão da LP (IBAMA, 2013a).

Portanto, as fases iniciais do licenciamento, que vão até a emissão da LI, correspondem, de fato, ao planejamento de todo o processo e podem induzir a elaboração e aprovação de projetos de estradas ambientalmente adequados.

2.1.3. Estudos e programas ambientais:

Dentre os 31 impactos do empreendimento identificados no EIA da BR-101 Sul (DNER-IME, 1999), este trabalho se aterá a 16 destes, por incidirem sobre o meio físico e biótico, mesmo que o referido estudo os tenha classificado dentre aqueles incidentes sobre o meio socioeconômico, indicados na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Impactos da duplicação da BR-101 Sul identificados no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da BR-101 Sul, com indicação dos elementos de interesse neste trabalho.

DENOMINAÇÃO DO IMPACTO		Objeto de interesse neste trabalho
MEIO FÍSICO	Aumento da emissão de ruídos, poeiras e gases	✓
	Início e/ou aceleração de processos erosivos	✓
	Carreamento de sólidos e assoreamento da rede de drenagem	✓
	Interferências com a qualidade das águas superficiais e subterrâneas	✓
	Interferências com mananciais hídricos	✓
	Alterações no desenvolvimento das atividades minerárias	✓
	Deposição de materiais de descarte	✓
MEIO BIÓTICO	Supressão da vegetação nativa	✓
	Ampliação da fragmentação dos ambientes florestais	✓
	Aumento da pressão sobre os recursos vegetais	✓
	Risco de incêndios	✓
	Alteração nos hábitos da fauna	✓
	Aumento da caça predatória	✓
	Formação de ambientes propícios ao desenvolvimento de vetores	✓
MEIO SOCIOECONÔMICO	Alteração na estrutura de taxocenoses aquáticas	✓
	Redução da área de produção agropecuária	-
	Alteração no cotidiano da população	-
	Alteração no quadro demográfico	-
	Alteração no nível atual e na tendência de evolução da taxa de acidentes	-
	Possibilidades de acidentes com cargas perigosas	✓
	Aumento da oferta de postos de trabalho	-
	Aumento da demanda por bens e serviços	-
	Aumento da renda local e das arrecadações públicas	-
	Redução do consumo de combustível	-
	Aumento do tráfego de veículos e máquinas	-
	Melhorias dos acessos vicinais	-
	Alteração nas condições de fragmentação das áreas urbanas	-
	Interferência com a infraestrutura viária e de transmissão	-
Alteração no quadro de saúde	-	
Interferência com o patrimônio arqueológico	-	
Interferência com populações indígenas	-	

Fonte: Estudo de Impacto Ambiental da duplicação da BR-101 Sul (DNER-IME, 1999).

Os resultados dos trabalhos realizados no âmbito do EIA subsidiaram a elaboração do PBA, que reúne as medidas mitigadoras e o monitoramento ambiental do empreendimento. O PBA a BR-101 Sul (DNER-IME, 2001) e se constitui de 20 programas e subprogramas distintos, que seguem a mesma lógica que norteou a concepção do EIA, estando, assim, vinculados aos impactos ambientais identificados naquele estudo (DNER-IME, 1999).

Esse conjunto de programas e subprogramas do PBA foi submetido ao órgão licenciador, que os aprovou, o que significa dizer que o referido plano e as medidas ali previstas passaram, a partir disto, a compor o rol das obrigações do empreendedor frente ao licenciamento ambiental do empreendimento. A **Tabela 2** relaciona os 20 programas e subprogramas contidos no PBA (DNER-IME, 2001), acompanhados da indicação daqueles que foram objeto de interesse deste trabalho, num total de nove deles, selecionados por possuírem conteúdo e interface direta com os impactos sobre os meios físico e biótico.

Tabela 2 – Programas e subprogramas do Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul, com indicação dos elementos de interesse neste trabalho:

PROGRAMA OU SUBPROGRAMA DO PBA	Objeto de interesse neste trabalho
1. Programa de controle de processos erosivos	✓
2. Recuperação áreas degradadas	✓
3. Programa de paisagismo	✓
4. Recuperação de passivos ambientais	✓
5. Melhoria das travessias urbanas	-
6. Redução do desconforto e de acidentes	-
7. Material particulado, gases e ruídos	✓
8. Segurança e saúde	-
9. Programa de desapropriações	-
10. Programa de reassentamento	-
11. Programa de apoio às comunidades indígenas	-
12. Proteção ao patrimônio histórico, cultural e arqueológico	-
13. Subprograma de proteção à fauna	✓
14. Subprograma de proteção à flora	✓
15. Subprograma de supressão de vegetação	✓
16. Monitoramento de corpos hídricos	✓
17. Transporte de produtos perigosos	✓
18. Programa de ordenamento territorial	-
19. Comunicação social	-
20. Acompanhamento e monitoramento ambiental	-

Fonte: Plano Básico Ambiental da duplicação da BR-101 Sul (DNER-IME, 2001).

O EIA da duplicação da BR-101 Sul compreendeu um diagnóstico ambiental, contendo uma profusão de dados sobre o meio físico e biótico da área do empreendimento, incluindo investigações de campo, para identificar e avaliar os impactos ambientais do projeto e indicar medidas mitigadoras para aqueles de natureza negativa, detalhadas depois no PBA (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001). A elaboração do EIA foi calcada nas metodologias utilizadas usualmente para este tipo de trabalho, resultando num produto reunido em cinco volumes datados de setembro e outubro de 1999. O PBA, por sua vez, soma nove tomos, datados de julho de 2001.

2.1.4. Documentação gerada pelo órgão licenciador:

A complexidade do EIA encontrou correspondência nas etapas do processo de licenciamento sob a responsabilidade do órgão licenciador. Os documentos produzidos e disponíveis para consulta pelo público no sítio do IBAMA na internet (IBAMA, 2013a), demonstram quão intrincados têm sido os procedimentos para o licenciamento da duplicação da BR-101 Sul.

Há o registro de 16 diferentes processos administrativos relacionados ao empreendimento, mas só parte das peças que os compõem – todas utilizadas para as análises neste trabalho – se encontra disponibilizada ao público através do sistema Informatizado de licenciamento ambiental federal (IBAMA, 2013a). Mesmo assim, este conjunto de documento soma 92 distintos atos administrativos, relacionados à concessão de licenças nas diversas etapas do licenciamento e outros documentos emitidos pelo IBAMA até novembro de 2012, a saber: um termo de referência, cinco licenças prévias, 17 licenças de implantação, 20 licenças de operação, com nove renovações e duas retificações posteriores, uma ata de audiência pública, três informações técnicas, três notas técnicas, 11 pareceres técnicos e 20 relatórios de vistoria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS ABORDAGENS TEÓRICO-CIENTÍFICA E DO LICENCIAMENTO DA BR-101 SUL QUANTO AOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ESTRADAS

3.1.1. Identificação e avaliação dos impactos ambientais:

Para ordenar a forma de apresentação dos impactos negativos das estradas descritos na literatura científica, a pesquisa à literatura fundamentou a elaboração de um diagrama (**Figura 3**), construído a partir de revisões e dos trabalhos mais importantes e, sempre que possível, os mais atualizados da área da ecologia de estradas (SMITH, HARIS e MAZZOTTI, 1996; FORMAN et al., 1997; FORMAN E ALEXANDER, 1998; SPELLERBERG, 1998; FORMAN, 1999; SWANSON et al., 1999; FORMAN e DEBLINGER, 2000; JONES et al., 2000; TROMBULAK e FRISSEL, 2000; SEILER, 2001; CARR, FAHRIG e POPE, 2002; FORMAN et al., 2003; JAEGER et al., 2005; COFFIN, 2007; GOOSEM, 2007; BISSONETTE e ADAIR, 2008; EIGENBROD, HECNAR e FAHRIG, 2008; MCGREGOR, BENDER e FAHRIG, 2008; EIGENBROD, HECNAR e FAHRIG, 2009; GLISTA, DeVAULT e DeWOOD, 2009; KOCIOLEK et al., 2010; ROBINSON, DUINKER e BEAZLEY, 2010; JACKSON e FAHRIG, 2011; van der REE et al., 2011; ABBOTT, BUTLER e HARRISON, 2012; BAGER e FONTOURA, 2012; GRILO, 2012; LESBARRÈRES e FAHRIG, 2012).

O referido diagrama, além de sumarizar os impactos descritos pela ecologia de estradas e suas relações de causa e efeito, foi construído para permitir que, posteriormente, todos os elementos do licenciamento da duplicação da BR-101 Sul analisados pudessem também ser organizados e apresentados de forma a encontrar correspondência com a sistematização e o ordenamento dado aos fundamentos teórico-científicos, obtidos através da construção do referido diagrama. Assim, todas as análises que se seguiram adotam a mesma sistematização como base. Por causa da intrincada teia de relações existentes, foram utilizadas setas coloridas apenas para facilitar a visualização do vínculo entre os elementos gráficos do diagrama.

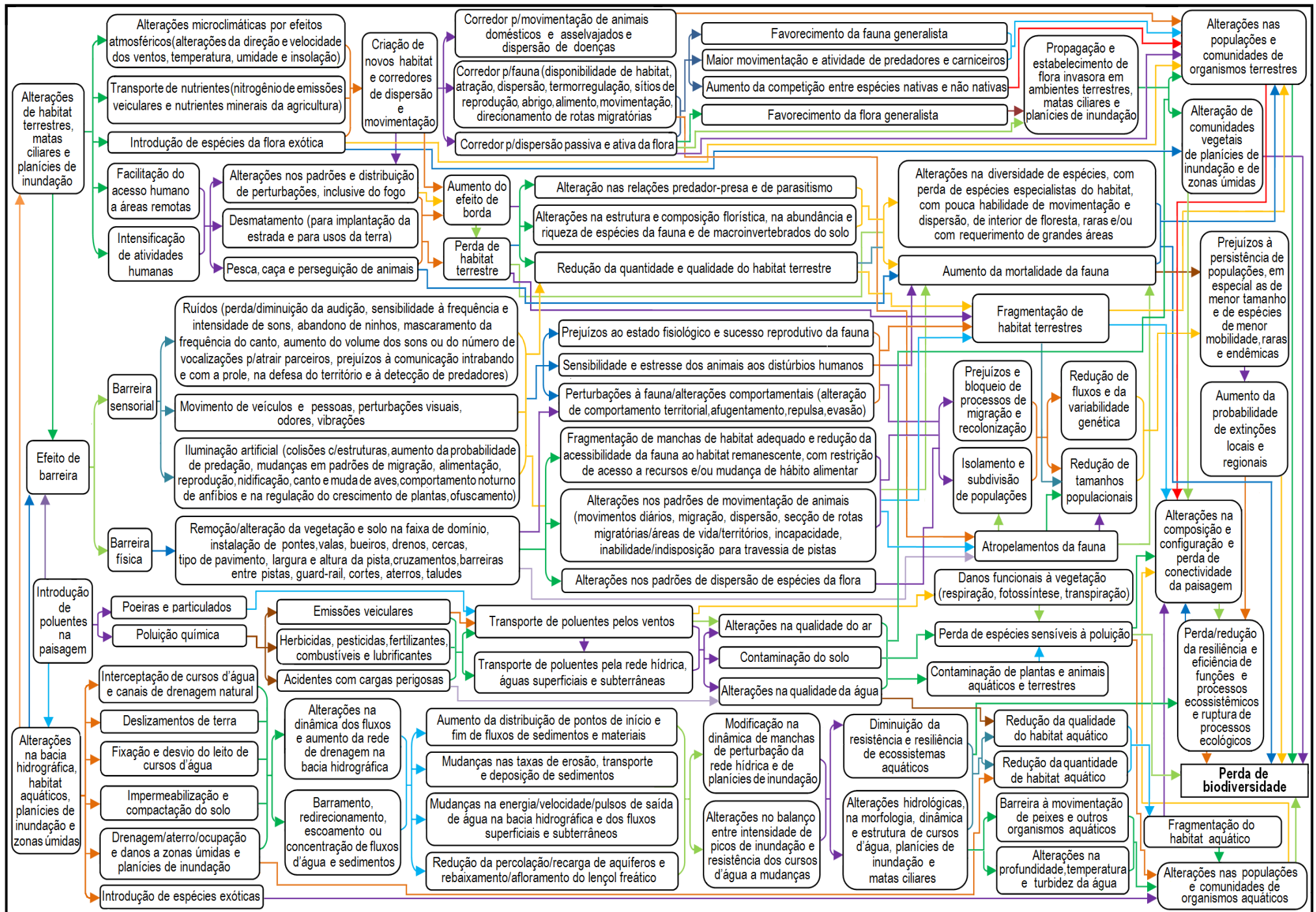


Figura 3 - Diagrama dos impactos negativos das estradas sobre os meios físico e biótico, segundo a teoria ecológica.

O diagrama da **Figura 3**, ao invés de buscar simplificações, incluiu a origem e a descrição sumária de todos os impactos negativos mais relevantes atribuídos às estradas e as relações entre estes, concentrando o máximo possível das informações colhidas na pesquisa à literatura num único conjunto.

Embora existam outras formas de sistematização dos impactos das estradas (FORMAN e ALEXANDER, 1998; TROMBULAK e FRISSEL, 2000; COFFIN, 2007; GOOSEM, 2007), a construção do diagrama apresentado na **Figura 3** permite reconhecer o quanto a cadeia de impactos é entrelaçada e o quanto a compreensão de um impacto sempre dependerá da compreensão de outros e das interações e interações existentes no conjunto. Essa forma de sistematização de informações permitiu concentrar os impactos em quatro grandes grupos principais, identificados nas caixas de texto à esquerda do diagrama: **a)** alterações de habitat terrestres, matas ciliares e planícies de inundação; **b)** efeito de barreira; **c)** introdução de poluentes na paisagem e **d)** alterações na bacia hidrográfica, habitat aquáticos, planícies de inundação e zonas úmidas. Foram esses quatro grupos de impactos serviram de base para ordenar a avaliação e identificação das lacunas teóricas do licenciamento da BR-101 Sul.

Para permitir uma comparação entre os impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e aqueles identificados pelos estudos realizados para o licenciamento da duplicação da BR-101 Sul, a partir das informações contidas no EIA (DNER-IME, 1999) e no PBA (DNER-IME, 2001) do empreendimento, foi elaborada a **Figura 4**. Nesta é apresentado um novo diagrama, que, portanto, reúne os impactos do empreendimento descritos nestes estudos. Para construí-lo, foi utilizada inicialmente a estrutura do diagrama anterior (**Figura 3**) e, depois, foram sendo suprimidos os impactos não mencionados no EIA e no PBA, ajustadas, sempre que necessário, as descrições dos impactos e as relações nas cadeias, de forma que esse novo diagrama pudesse refletir as informações contidas naqueles estudos, sem, no entanto, alterar substancialmente a localização dos elementos estruturais do diagrama original, que lhe serviu de base.

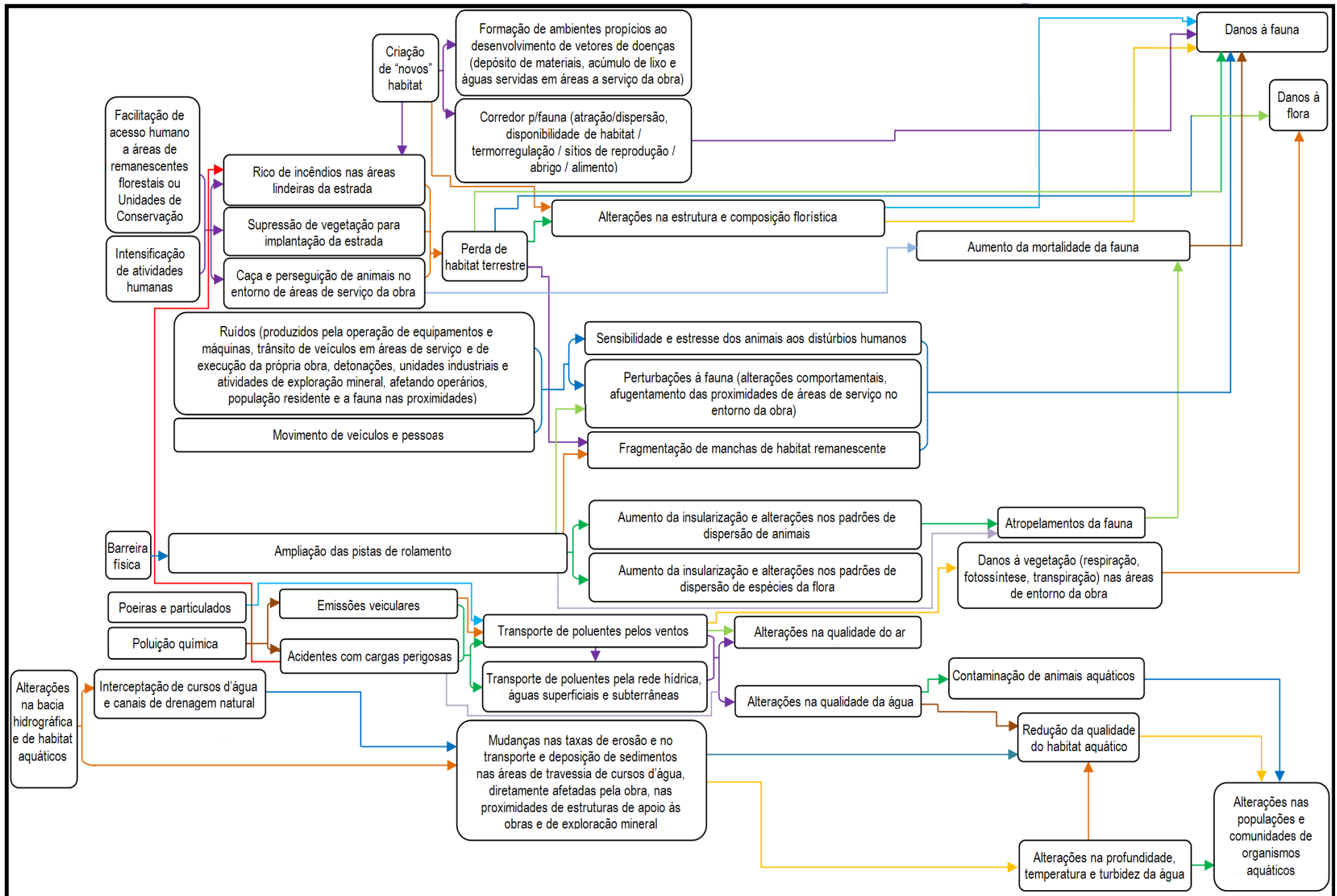


Figura 4 – Diagrama dos impactos negativos da duplicação da BR-101 Sul sobre os meios físico e biótico e suas relações causais, descritos no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (DNER-IME,1999) e no Plano Básico Ambiental (PBA) (DNER-IME 2001) do empreendimento.

A **Figura 4**, portanto, reúne os impactos descritos nos estudos e programas ambientais do licenciamento da BR-101 Sul e explicita lacunas importantes, em relação às descrições dos impactos ecológicos das estradas descritos na literatura científica. Essas lacunas se expressam através dos vazios, diferenças nas descrições e interações entre os impactos mostrados na **Figura 4** em comparação àqueles mostrados no diagrama da **Figura 3**. A comparação entre as referidas figuras, por si só, explicita que o EIA e o PBA deixaram de identificar muitos impactos da BR-101 Sul, tanto aqueles preexistentes quanto aqueles esperados após a sua duplicação, o que corresponde à omissão de uma grande quantidade de elementos gráficos na **Figura 4**, verificada desde a origem até o final das cadeias correspondentes aos quatro principais grupos de impactos das estradas discriminados a partir dos subsídios da ecologia de estradas, definidos a partir do diagrama mostrado na **Figura 3**.

A identificação insuficiente dos impactos ambientais do empreendimento, em relação ao que prevê a teoria ecológica, além de comprometer a avaliação de cada impacto individualmente, traz prejuízos à compreensão e avaliação das interações no conjunto dos impactos do empreendimento e leva à subestimação da sua expressão e das suas consequências no caso específico. Porém, isso não é tudo. A abordagem e mecanismos dos impactos que chegaram a ser abordados no processo de licenciamento da duplicação da BR-101 Sul difere substancialmente da abordagem dada pela literatura científica para os impactos das estradas, conforme sumarizado na **Tabela 3**, onde são confrontadas estas duas abordagens, de forma crítica, destacando algumas implicações disto.

Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul:

Grupo		Abordagem dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica		Análise crítica e algumas implicações da abordagem dos impactos da BR-101 Sul*	
		Descrição	Referências		
Alterações nos habitat terrestres e de matas ciliares e planícies de inundação	Fragmentação	O aumento da extensão e conexão da rede de estradas secciona grandes manchas de habitat remanescentes e torna a paisagem cada vez mais fragmentada e menos bem conectada em escalas espacial e temporal mais amplas. A fragmentação associada às estradas afeta a qualidade e quantidade de habitat disponível. O potencial de perda de biodiversidade causado por este grupo de impactos não deveria ser subestimado.	Smith, Haris e Mazzotti (1996), Forman e Alexander (1998), Spellerberg (1998), Trombulak e Frissel (2000), Seiler (2001), Carr, Fahrig e Pope (2002), Forman et al. (2003), National Research Council (2005), Coffin (2007), Goosem (2007), Kocielek et al. (2010), Robinson, Duinker e Beazley 2010) e van der Ree (2011).	O impacto da fragmentação foi avaliado de forma equivocada, em escala na qual não pode ser percebido e atribuído apenas ao aumento da distância entre remanescentes pela supressão de vegetação nativa para a implantação da nova pista. A perda de habitat foi avaliada apenas quanto à supressão da vegetação nativa para ampliação da rodovia. O PBA continha levantamento fitossociológico da vegetação da faixa de domínio da rodovia e quantificava a área ser suprimida (178,2 ha de vegetação nativa e 579,3 ha de vegetação antrópica). Não foram mapeados manguezais e a vegetação marginal das lagunas, por estarem descaracterizadas. O fato do empreendimento se inserir em área degradada e intensamente ocupada não deveria levar à minimização dos impactos, o que prejudicou a proposição de medidas mitigadoras, como a restauração de áreas, e de compensação ambiental, como criação ou apoio à gestão de unidades de conservação, para que o empreendimento tratasse seus próprios passivos pregressos relacionados à fragmentação da paisagem e perda de habitat e contribuísse para o restabelecimento da conectividade, inclusive articulando ações com políticas e projetos regionais.	
	Aspectos gerais	Perda de habitat direta e indiretamente, respectivamente, por ocupação de espaços para a implantação das vias e outras edificações acessórias e pela intensificação de atividades no entorno, pela presença e uso da estrada.			
	Perda de habitat	Aspectos gerais			As clareiras lineares formadas nos corredores de estrada ¹ criam artificialmente habitat de bordas, com a perda de quantidade e qualidade do habitat, favorecendo a colonização de outras espécies e a substituição de espécies de ocorrência original. Cada segmento de estrada resulta em 1,5 a 3 vezes a sua área em bordas e na perda de habitat naturais de 13,5 ha/km de estrada, com consequências negativas de grande alcance para a estrutura dos ecossistemas e fluxos na paisagem.
	Efeito de borda				Particularidades	Criação de novos habitat p/ fauna	Não foi avaliado o efeito de borda já produzido pela estrada existente e os impactos consequentes da perda de quantidade e qualidade dos habitat terrestres, nem tampouco a ampliação da expressão deste impacto com a duplicação. O impacto da criação de habitat de borda e a avaliação da sua extensão e formas de expressão não poderia ser negligenciada, para permitir a proposição de medidas de correção de passivos, de mitigação e compensação ambiental, integradas àquelas propostas para a perda direta e indireta de habitat e fragmentação de ambientes terrestres, uma vez que a perda de habitat adicional associada a este impacto contribui para a perda de conectividade na paisagem.
		O efeito de borda resulta no aumento da diversidade de habitat na paisagem e os corredores de estradas assumem a condição de habitat adicional para algumas espécies, favorecendo especialmente as espécies generalistas da fauna nativa e exótica, servindo também como corredores, conexão ou espaço para movimentação de algumas espécies.	Não foram avaliadas as alterações nas comunidades faunísticas associadas à criação de novos habitat e favorecimento de espécies generalistas nos corredores da estrada. Não avaliar este impacto, relacionado, por exemplo, à substituição de espécies, à perda de especialistas do habitat, ao efeito de barreira das estradas e à introdução de espécies exóticas, compromete a compreensão da interferência da estrada em processos ecológicos e na avaliação global dos impactos sobre a fauna nativa e a proposição de medidas de mitigação e monitoramento.		

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul (continuação):

Grupo		Abordagem dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica		Análise crítica e algumas implicações da abordagem dos impactos da BR-101 Sul*		
		Descrição	Referências			
Alterações nos habitat terrestres, matas ciliares e planícies de inundação	Efeito de borda – Particularidades	Introdução de espécies da fauna e flora exótica e invasora	As alterações ambientais nos corredores da estrada favorecem também a introdução e estabelecimento da flora e fauna exótica e invasora (plantas daninhas, fauna doméstica asselvajada e patógenos), que podem invadir ambientes adjacentes. Como condutoras para muitas espécies, as estradas favorecem a dispersão ativa e passiva de espécies generalistas, tolerantes a distúrbios, e espécies exóticas. Os novos habitat criados são altamente propensos a invasões, proliferação e estabelecimento destas espécies, alterando o habitat original e substituindo espécies nativas.	Forman e Alexander (1998), Spellerberg (1998), Forman e Deblinger (2000), Trombulak e Frissell (2000), Carr, Fahrig e Pope (2002), Forman et al. (2003), National Research Council (2005), Coffin (2007), Goosem (2007) e Robinson, Duinker e Beazley (2010).	Este impacto não foi abordado no EIA, embora o estudo registrasse que a vegetação dominante ao longo da maior parte do traçado da rodovia já seria essencialmente herbácea, composta por espécies invasoras. Ou seja, a área já experimentava um processo de substituição de espécies nativas por invasoras, impacto que o estudo deixou de avaliar, demonstrando o favorecimento de fluxos antes não existentes, inclusive não gravitacionais na paisagem (como pode ocorrer na dispersão e propagação de espécies invasoras, por exemplo). Ao negligenciar a avaliação de um impacto direto da estrada, o estudo deixou de propor medidas que tratassem dos passivos da rodovia e de mitigação para a fase de operação após a duplicação, como o controle e erradicação de espécies exóticas e invasoras, através e restauração de áreas degradadas e outras medidas que visassem o restabelecimento, da conectividade e de fluxos e dinâmicas naturais dos ecossistemas originais.	
	Alterações no regime natural de perturbações por fogo		A presença de estradas pode implicar na alteração dos padrões naturais de fogo, pois a intensificação das atividades humanas no entorno pode resultar no aumento da frequência do uso do fogo em atividades de agricultura e pecuária. Gramíneas invasoras ou introduzidas, ao se estabelecer nos corredores das estradas, favorecem ocorrências deste tipo.	Forman et al. (1997), Forman e Alexander (1998), Carr, Fahrig e Pope (2002), Jaeger et al. (2005), Coffin (2007) e Goosem (2007).		O impacto da ocorrência de incêndios foi avaliado apenas nas áreas lindeiras à rodovia, favorecidos pela vegetação herbácea ao longo das vias e associados a acidentes com cargas perigosas, afetando organismos e remanescentes de vegetação nativa. Porém, a avaliação não ultrapassava a escala espacial da área do empreendimento, deixando de avaliar o favorecimento de ocorrências, também como resultado da intensificação do uso do fogo em áreas próximas e sua relação com a mudança de regimes de perturbação natural na paisagem.
	Alterações do solo		As estradas aumentam a compactação dos solos (em até 200 vezes) sob as estradas e adjacências, com danos contínuos e persistentes por décadas, mesmo após a descontinuidade do uso da estrada,	Trombulak e Frissell (2000), Seiler (2001) e Robinson, Duinker e Beazley (2010).		Impacto não abordado no EIA. Não foram avaliados efeitos do comprometendo a biota do solo, fluxos d'água e outros processos, com implicações para a avaliação de outros impactos persistentes da estrada.
	Caça, pesca e atividades recreativas		A facilitação do acesso humano a áreas remotas favorece a caça, pesca e atividades recreativas em áreas antes não perturbadas, resultando em distúrbios e perseguição à fauna. Ocorrendo na fase de implantação e durante toda a fase de operação da estrada, essas atividades podem resultar em redução da densidade de animais e danos aos ecossistemas.	Forman et al. (1997), Spellerberg (1998), Seiler (2001), National Research Council (2005), Coffin (2007) e Goosem (2007).		A caça, favorecida ainda mais pela construção de novos acessos e a melhoria daqueles existentes, obras direta e indiretamente relacionadas à duplicação, seria exercida nas proximidades da rodovia durante a implantação e a operação, por usuários da estrada e moradores do entorno, mas pressionaria populações já debilitadas e seria evitada pelas medidas recomendadas. A pressão da caça seria exercida em áreas que excedem as proximidades do empreendimento. Não foram avaliadas pressões adicionais da caça, pesca e usos recreativos sobre a afauna e a flora e a relação da intensificação de atividades antrópicas favorecidas e indiretamente relacionadas à estrada sobre as populações e comunidades.

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul (continuação):

Grupo		Abordagem dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica		Análise crítica e algumas implicações da abordagem dos impactos da BR-101 Sul*
		Descrição	Referências	
Alterações nos habitat terrestres, matas ciliares e planícies de inundação	Danos a planícies de inundação e matas ciliares	As estradas podem implicar mudanças nos regimes de perturbação natural de planícies de inundação e matas ciliares, alterando entradas de nutrientes e a morfologia destes ambientes, e, funcionando como condutores de espécies, as estradas podem ainda favorecer o estabelecimento de espécies exóticas e invasoras da flora nestes ambientes, resultando em alterações na composição das comunidades da flora e fauna.	Forman e Alexander (1998), Swanson et al. (1999), Forman e Deblinger (2000), Jones et al. (2000) e Trombulak e Frissel (2000).	Impacto não avaliado no EIA. Mais um impacto direto das estradas não foi avaliado pelo estudo, comprometendo a avaliação dos efeitos da rodovia na alteração de comunidades vegetais e animais e consequências sobre fluxos, regimes de perturbação, resiliência e funções dos ecossistemas diretamente afetados.
	Efeito de barreira das estradas	Aspectos gerais	Efeitos combinados da diminuição da quantidade e a qualidade de habitat, aumento da mortalidade por atropelamentos, limitação de acesso a recursos segregados pela estrada pela dificuldade ou impossibilidade de travessias, grau de sensibilidade e reação das espécies frente aos distúrbios e a subdivisão de populações em frações menores e mais vulneráveis, fazem as estradas funcionar como barreiras físicas e biológicas para muitas espécies da fauna. O efeito de barreira resulta em inacessibilidade, perda e fragmentação de habitat, desconectando redes de recursos e tornando as paisagens não permeáveis ou semipermeáveis, com a perda ou redução de processos ecossistêmicos dependentes da movimentação da fauna, incluindo polinação e dispersão. Os distúrbios provocam a fragmentação interna mesmo de florestas contínuas. O efeito de barreira varia com: a) o designe e características da estrada; b) a configuração espacial da estrada em relação aos elementos e configuração da paisagem adjacente; c) o volume de tráfego; d) a velocidade dos veículos; e) a densidade de estradas na paisagem; e f) as características, comportamento e percepção das espécies de interesse frente à presença e operação da estrada. Resulta em alterações nos padrões de movimentação (dispersões, reprodução, comportamento de fuga e migrações) e acarreta em alterações nas áreas de vida, sucesso reprodutivo, resposta de fuga e estado fisiológico dos animais. Afeta a persistência de muitas espécies e populações, por restringir o movimento entre manchas de habitat provocando isolamento genético e populacional, reduzindo fluxos genéticos, com do declínio global da biodiversidade.	Smith, Haris e Mazzotti (1996), Forman e Alexander (1998), Spellerberg (1998), Trombulak e Frissel (2000), Seiler (2001), Carr, Fahrig e Pope (2002), Forman et al. (2003), Jaeger et al. (2005), National Research Council (2005), Coffin (2007), Goosem (2007), Bissonette e Adair (2008), Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2008), McGregor, Bender e Fahrig (2008), Fahrig e Rytwinski (2009), Glista, DeVault e DeWood (2009), Kociolek et al. (2010), Robinson, Duinker e Beazley (2010), Jackson e Fahrig (2011), van der Ree (2011), Abbott, Butler e Harrison (2012) e Lesbarrères e Fahrig (2012).

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul (continuação):

Grupo	Abordagem dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica		Análise crítica e algumas implicações da abordagem dos impactos da BR-101 Sul*	
	Descrição	Referências		
Efeito de barreira das estradas – particularidades	Mortalidade direta por atropelamentos	<p>O aumento da mortalidade direta de animais se atribui tanto à mortalidade causada pela construção de estradas em si, comumente tratada em programas de afugentamento e resgate da fauna, e por atropelamentos. Os principais fatores associados à mortalidade por atropelamentos da fauna silvestres são: a) a interceptação e interrupção de rotas de migração, habitat ou territórios por estradas; b) a movimentação de animais ao longo dos corredores de estrada; e c) a atração de algumas espécies para o ambiente da estrada (pela disponibilidade de recursos alimentares, como carniça e forragem), tornando as estradas uma “armadilha ecológica” ou habitat.</p> <p>A mortalidade por colisões com veículos implica na redução das populações animais e efeitos demográficos consequentes. As taxas de atropelamentos variam: a) com a espécie; b) com a estrutura e configuração da paisagem do entorno (presença de vegetação, água, plantações que atraiam os animais, habitat contínuos seccionados, zonas de baixa altitude e a ausência de florestas densas nas imediações); e c) com o designe da estrada, (por exemplo, a largura da clareira aberta).</p> <p>Os efeitos dos atropelamentos aparentemente são mais significativos para algumas poucas espécies raras, ameaçadas ou em perigo de extinção, especialmente entre os vertebrados. Nas demais, os atropelamentos têm efeito mínimo sobre os tamanhos populacionais, embora populações locais possam sofrer declínio quando as taxas de morte por atropelamentos excedem as taxas de reprodução e migração e se as ocorrências forem suficientemente altas em relação ao background das taxas de mortalidade.</p> <p>A ocorrência de atropelamentos pode ser afetada por fatores sazonais (períodos do dia, estações do ano) nas quais as espécies sejam mais vulneráveis, com aumento de taxas coincidindo com o aumento da movimentação para reprodução ou estabelecimento de território, ou a movimentos diários, para espécies que precisam mover-se por manchas de habitat para satisfazer requerimentos ecológicos, ou ainda à atração por recursos para espécies que se beneficiam do habitat de borda e necrófagos. Em áreas de florestas tropicais, 75% dos animais atropelados são anfíbios e 12,5% mamíferos e répteis, independentemente se em rodovias mais movimentadas ou estradas de volume de tráfego moderado. Há registro de 1.000 a 3.000 mortes de vertebrados/km/dia em estradas com volume de tráfego bastante moderado (4 mil veículos/dia). Alguns indivíduos de algumas espécies, à medida que alcançam faixas etárias mais altas, aparentemente aprendem como evitar atropelamentos, outras espécies terrestres demonstram velocidade e inteligência para evitá-los, outras buscam rotas mais seguras para travessias e outras simplesmente evitam a proximidade com estradas.</p>	<p>Smith, Haris e Mazzotti (1996), Forman e Alexander (1998), Trombulak e Frissell (2000), Seiler (2001), Carr, Fahrig e Pope (2002), Coffin (2007), Goosem (2007), Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2008), Glista, DeVault e DeWood (2009), Kociolek et al. (2010), Robinson, Duinker e Beazley (2010), Jackson e Fahrig (2011), Abbott, Butler e Harrison (2012), Bager e Fontoura (2012), Bueno et al. (2012), Grilo (2012) e Rosa et al. (2012).</p>	<p>A mortalidade direta de animais pela implantação da nova pista da estrada não foi avaliada no EIA. Da mesma forma, os atropelamentos da fauna não foram avaliados dentre os impactos previstos, nem na perspectiva de análise de impactos progressos desta natureza, visto que a estrada já existia, nem no contexto da ampliação da via. Contudo, o EIA recomendava a implantação de um grande número de “passa-bichos” e de estruturas estas associadas (cercas de contenção, por exemplo). Alguns critérios para localização das passagens de fauna, como a configuração da paisagem no entorno, são apenas mencionados de forma genérica nos programas ambientais.</p> <p>A implantação do empreendimento não avaliou a mortalidade de indivíduos em consequência da destruição de habitat durante as obras, deixando de propor programas de afugentamento e resgate da fauna. Também (e principalmente) não foi avaliado como a ampliação da rodovia aumentaria o efeito de barreira da estrada e suas implicações para o aumento da ruptura de fluxos e perda de conectividade, cujos indícios se revelam também através das taxas de atropelamentos, que tendem a aumentar com pistas mais largas, instalação de barreiras sólidas entre pistas e às margens da via, aumento do volume de tráfego e velocidade média dos veículos, dificultando, inibindo ou impedindo travessias e expondo os animais a risco maior. O tratamento dado ao impacto também não associou os eventos de atropelamento de animais a avaliações sobre outros aspectos relacionados ao efeito de barreira, como, por exemplo, a atração de animais para a estrada e perturbações associadas ao trânsito de veículos. Assim, embora se proponha a instalação de passagens de fauna, essa medida não está associada a estudos sobre as pressões e a persistência de populações, manutenção de fluxos e da conectividade na paisagem.</p>

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul (continuação):

Grupo	Abordagem dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica		Análise crítica e algumas implicações da abordagem dos impactos da BR-101 Sul*	
	Descrição	Referências		
Efeito de barreira das estradas – particularidades (continuação)	Alterações comportamentais	<p>Perturbações, que fazem com que muitas espécies evitem as estradas, provavelmente produzem efeitos ecológicos muito maiores do que os atropelamentos, pois se espalham por toda a estrada. Alterações comportamentais associadas às estradas comprometem hábitos de forrageamento, reprodução, resposta de fuga e o estado fisiológico dos animais. Algumas espécies parecem não ser afetadas, pelo menos em certas escalas espaciais, outras espécies exibem comportamento de evasão das proximidades da estrada, evitando-a, e outras simplesmente estabelecem seus territórios longe das estradas, abandonando áreas afetadas pela própria estrutura e pelo efeito de borda. A evasão expõe as espécies a chances menores de atropelamentos, mas as tornam vulneráveis à perda de conectividade da paisagem. Espécies incapazes de realizar travessias, estendem seus movimentos às margens das estradas, outras relutam em atravessar e o fazem apenas com baixos volumes de tráfego. Assim, especialmente em paisagens fragmentadas, ficam comprometidas a manutenção de fluxos genéticos e as conexões espaciais efetivadas pela movimentação de animais, elemento crítico para a viabilidade e persistência das populações.</p>	<p>Forman e Alexander (1998), Trombulak e Frissel (2000), Seiler (2001), Carr, Fahrig e Pope (2002), Jaeger et al. (2005), National Research Council (2005), Coffin (2007), Goosem (2007), Bissonette e Adair (2008), McGregor, Bender e Fahrig (2008), Kociolek et al. (2010), Robinson, Duinker e Beazley (2010), Jackson e Fahrig (2011), Abbott, Butler e Harrison (2012) e Grilo (2012).</p>	<p>Ocorreria o afugentamento de animais por alterações nos habitat decorrentes dos desmatamentos, circulação de pessoal e equipamentos, geração de ruídos e poeiras e outras intervenções, restritas a áreas próximas a remanescentes florestais e à na fase da de implantação, sendo pouco significativo em áreas campestres. Esse impacto seria pouco relevante, tendo em vista a degradação das áreas e o domínio de espécies adaptadas à atividade humana e formas invasoras. Assim, o EIA reduziu as reações da fauna à estrada ao simples afugentamento de espécimes de áreas próximas à obra, minimizando o efeito de barreira como um todo, um importante impacto associado ao uso da estrada, deixando de avaliar as formas como as estradas interferem nos padrões comportamentais da fauna e comprometem fluxo e processos na paisagem, deixando de propor medidas de mitigação adequadas para efeitos de longo prazo e comprometendo as poucas medidas propostas.</p>
	Ruídos	<p>Os ruídos são uma das principais perturbações relacionadas à evasão da fauna do entorno das estradas. Associados à densidade de tráfego e a velocidade dos veículos, que determinam a distância de propagação (também influenciada pela configuração do entorno), alcançam distâncias maiores em paisagens abertas do que em florestas. Podem ser menores e transitórios, em estradas com baixos volumes de tráfego, e quase contínuos, em rodovias mais movimentadas. Flutuações ao longo do tempo podem afetar animais em certas horas do dia ou estações, dependendo dos padrões dos ciclos diários e de vida da espécie. Os efeitos sobre os animais são variados e mais significativos sobre espécies que se apoiam em comunicação acústica, mudando vocalizações e interferindo na comunicação, com membros do bando ou a prole, para reprodução, na defesa do território e detecção de predadores, comprometendo reservas energéticas dos indivíduos. Algumas espécies parecem incapazes de adaptar seus cantos, com prejuízo ao sucesso reprodutivo, e outras parecem não ser afetadas. Ruídos crônicos estão associados à redução da densidade de populações e estruturas etárias mais jovens, afetando mais severamente populações menores ao longo do tempo. Os efeitos crescem a partir de velocidades de 120 km/h e trânsito de 3 mil veículos/dia. Todas as populações de todos os grupos declinam com ruídos na faixa de 42 e 48 dB (espécies mais sensíveis de 35 dB e 43 dB), para espécies florestais e de áreas abertas, respectivamente.</p>	<p>Forman e Alexander (1998), Spellerberg (1998), Seiler (2001), Carr, Fahrig e Pope (2002), Forman et al. (2003), National Research Council (2005), Coffin (2007), Goosem (2007), Glista, DeVault e DeWood (2009), Kociolek et al. (2010), Robinson, Duinker e Beazley (2010) e van der Ree (2011).</p>	

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul (continuação):

Grupo	Abordagem dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica		Análise crítica e algumas implicações da abordagem dos impactos da BR-101 Sul*
	Descrição	Referências	
Efeito de barreira das estradas – Particularidades (continuação) Iluminação artificial	As luzes provenientes das estradas podem ter efeitos negativos sobre várias espécies animais, e, como os ruídos, também podem ter e caráter quase contínuo em estradas muito movimentadas. As perturbações se estendem por distâncias menores que os ruídos, mas luzes de veículos podem penetrar extensas áreas de florestas, tanto quanto a iluminação natural associada ao efeito de borda. Alterações dos habitat no longo prazo pela exposição a flashes de luz intermitentes ou iluminação noturna contínua, podem estar relacionadas com danos fisiológicos, psicológicos e alterações de comportamento, atraindo algumas espécies e afugentando outras. As luzes artificiais alteram padrões de nidificação, canto, reprodução e muda das aves, estruturas de iluminação atraem algumas aves migratórias, aumentando a probabilidade de predação ou colisão, provocam desvios de rotas e diminuição do estoque de energia corporal. Algumas aves passam a cantar mais cedo em área artificialmente iluminadas. Embora existam estudos no meio urbano, pouco se sabe sobre o efeito de luzes artificiais sobre invertebrados em áreas de florestas tropicais, mas vagalumes podem ser afugentados. Também não foram inteiramente avaliados os efeitos de luzes intermitentes sobre os vertebrados de florestas tropicais, embora muitos mamíferos e anfíbios, ofuscados pelas luzes dos veículos e privados de visão normal por um período de tempo considerável, fiquem mais vulneráveis a atropelamentos.	Forman e Alexander (1998), Spellerberg (1998), Seiler (2001), Goosem (2007), Glista, DeVault e DeWood (2009) e Kociolek et al. (2010).	Impacto não avaliado no EIA. Mais um aspecto relacionado aos impactos sobre a fauna e processos associados aos seus padrões naturais de movimentação foi negligenciado no estudo, lacuna que se junta às demais e resulta numa falha importante do estudo, compromete até a principal medida de mitigação proposta – a instalação de passagens de fauna, visto que a mitigação de atropelamentos depende da compreensão do efeito de barreira no seu conjunto.
Introdução de poluentes na paisagem	A poluição oriunda das estradas é composta basicamente de sedimentos (tratados no grupo de impactos relacionados às alterações na bacia hidrográfica), emissão de ruídos e iluminação artificial (tratados no grupo de impactos do efeito de barreira), poeiras, particulados e produtos químicos. As principais fontes da poluição relacionada às estradas são: a) emissões veiculares; b) a própria estrutura da estrada; c) deposição atmosférica seca e úmida (poeira e chuva) e, d) derramamentos produtos químicos. A poluição atmosférica é o mais significativo efeito ambiental direto das estradas. A maior parte dos contaminantes provenientes das estradas tem origem nas emissões veiculares (83%); outra parte provém do lixiviamento e agentes de degelo (22%), não utilizados no Brasil; ou se origina do leito e do desgaste da superfície da estrada (17%) e de herbicidas e pesticidas (13%) utilizados na manutenção das faixas de domínio. A poluição atmosférica decorre das emissões por veículos (CO, NOx, VOC, SO ₂ , particulados, Pb, CH ₄), benzeno, butadieno, formaldeído e outros) somadas à poeira da estrada e material de desgaste de pneus. Os metais pesados e compostos orgânicos podem ser adsorvidos por partículas como lodo, argila e areia, associados à estrada ou ao seu leito. Alguns produtos químicos reagem com o ar para formar poluentes secundários, sendo o principal destes o ozônio (O ₃), produzido quando NOx se combina VOC na atmosfera. Poluentes transportados pelo ar podem contaminar sistemas aquáticos, somando-se àqueles carregados diretamente pelo escoamento pluvial. Isso resulta em substanciais entradas de nitrogênio, metais e hidrocarbonetos nos corpos d'água, oriundos de fontes atmosféricas. De fato, a entrada de produtos tóxicos oriundos das estradas na paisagem se dá principalmente pela via do escoamento das águas pluviais, contaminando o solo e a rede hídrica natural, onde são diluídos e se dispersam e a distâncias consideráveis.	Forman e Alexander (1998), Spellerberg (1998), Trombulak e Frissell (2000), Seiler (2001), Carr, Fahrig e Pope (2002), Forman et al. (2003), National Research Council (2005), Coffin (2007), Goosem (2007), Kociolek et al. (2010) e Robinson, Duinker e Beazley (2010).	O impacto direto da poluição pela rodovia foi, de uma forma geral, minimizado pelo EIA, tanto no que diz respeito à poluição atmosférica quanto à poluição de corpos d'água. A poluição hídrica poderia ocorrer na fase de implantação, por efluentes e águas servidas das obras, e, na fase de operação, por acidentes com cargas perigosas nas perto dos cursos de drenagem interceptados pela rodovia. O EIA tratou mais detalhadamente apenas os impactos relacionados a acidentes com cargas perigosas, mas, ainda assim, associando seus os efeitos sempre às populações humanas, tanto que este impacto foi descrito dentre aqueles que incidiam sobre o meio socioeconômico. As emissões veiculares foram desconsideradas, porque, avaliados os teores de monóxido de carbono, medidos em num ponto onde era esperada a sua maior concentração, foram encontrados níveis sempre abaixo dos aceitáveis.

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul (continuação):

Grupo	Abordagem dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica		Análise crítica e algumas implicações da abordagem dos impactos da BR-101 Sul*
	Descrição	Referências	
Introdução de poluentes na paisagem	<p>Continuação: Por causa da diluição, afetam primariamente os ecossistemas de pequenos cursos d'água mais próximos das estradas, afetando a qualidade da água, expressa nos níveis de metais pesados, salinidade, turbidez e oxigênio dissolvido. Sob influência das flutuações da quantidade de água, essas alterações tendem a ser localizadas e temporárias, inclusive em zonas úmidas, embora os metais pesados possam degradar a qualidade do habitat a 100m e outros compostos possam atingir até 200m ou áreas bem mais distantes das estradas. Altas concentrações de metais pesados estão correlacionadas à densidade de tráfego, afetando os solos de planícies de inundação próximas a pontes, com elevadas concentrações em gramíneas na faixa lateral de 5 a 8m das estradas – embora altos níveis de chumbo já tenham sido encontrados a 25m e em tecidos de pequenos mamíferos. A infiltração e transporte subterrâneo das águas pluviais contaminadas, podem afetar ecossistemas aquáticos e ser absorvidos por plantas. Altas contaminações e biodisponibilidade de alguns metais pesados foram registradas em sedimentos e solos à beira de rodovias com volume de tráfego moderado (6 mil veículos/dia). Altos níveis de Cu, Ni e Zn foram encontrados em plantas à beira de estradas, elevando os riscos de bioacumulação na cadeia alimentar de invertebrados e vertebrados. A primeira causa de mortalidade em cursos d'água está relacionada a altas concentrações de Al, Mg, Cu, Fe e Zn, com efeitos sobre populações a até 8 km de distância a jusante do ponto de contaminação. Altas densidades de tráfego e altas concentrações de metais pesados na drenagem de estradas, ambas, têm sido correlacionadas com a mortalidade de peixes e outros organismos aquáticos. Poeiras podem afetar a respiração, fotossíntese e transpiração, causando injúrias físicas e diminuição da produtividade das plantas. Embora a vegetação terrestre aparentemente seja mais resistente aos impactos das estradas do que os organismos aquáticos e a produtividade da vegetação pouco seja alterada, podem ocorrer alterações na composição de espécies de comunidades de plantas de planícies de inundação, favorecendo espécies generalistas. Essas mudanças na composição da vegetação podem afetar aves, pouco suscetíveis a efeitos tóxicos diretos mesmo com altos volumes de tráfego. Animais atraídos pelas estradas ficam expostos aos agentes tóxicos, fazendo com que a poluição também produza efeito de barreira. Pequenas frações de produtos químicos derramadas durante o transporte podem resultar em drenagens ácidas e podem afetar os ecossistemas dos cursos d'água. Acidentes com o derramamento de grandes quantidades de produtos podem causar severos efeitos locais. Herbicidas (especialmente quando aplicados por aspersão, exterminando plantas além dos alvos pretendidos), lubrificantes, material do desgaste de pneus também podem afetar áreas adjacentes às estradas. Já os fertilizantes e nutrientes oriundos das emissões veiculares (que incluem nutrientes minerais, como nitrogênio originário do NOx, e fósforo), o enriquecimento dos solos também pode favorecer o desenvolvimento de algumas espécies de plantas em prejuízo de outras, contribuindo para alterações na composição de comunidades vegetais ao longo das estradas. A diversidade dos poluentes químicos introduzidos pelas estradas dificulta a pesquisa e avaliação dos efeitos ecológicos da poluição, pois são exigidos diversos testes para analisar as diferentes partículas de contaminantes.</p>	Idem	<p>Continuação: A poluição atmosférica por poeiras e fumaças na fase de implantação, se originaria da exploração mineral, e unidades industriais a serviço da obra. Em outro ponto, o EIA relaciona a emissão de poeiras e particulados às atividades de terraplenagens, cortes e aterros, embora avaliasse o impacto como de pequena monta, uma vez que os poluentes atingiriam trechos com elevada umidade nos solos e porque seriam adotadas medidas de controle destas emissões. O impacto de acidentes com cargas perigosas ofereceriam risco de poluição dos mananciais de abastecimento humano, com impacto negativo na fase de implantação, pois os transtornos no trânsito possibilitariam a elevação do número de acidentes. Como o estudo previa a redução da ocorrência de acidentes na estrada já duplicada e medidas preventivas e corretivas, o impacto foi considerado de natureza positiva na fase de operação da rodovia. As emissões veiculares, um impacto direto significativo de estradas, além de medidas para um único parâmetro (CO), foram desconsideradas no estudo. Outros impactos da poluição sobre cursos d'água, os solos e a biota aquática e terrestre foram mais uma vez restringidos à ocorrência de eventos pontuais e localizados, restritos à áreas adjacentes à obra e à fase de implantação do empreendimento, numa falha de avaliação no contexto da escala temporal e espacial de expressão destes impactos e da sua interferência em processos ecológicos, por comprometer a qualidade da água, solos e ar e fragmentar habitat terrestres e aquáticos, afetando a resiliência e funções de ecossistemas e o fluxo de organismos. Assim, de forma geral, a avaliação dos impactos relacionados à poluição foram incompletas e insuficientes, deixando de identificar vários efeitos, interferências e consequências da poluição das estradas sobre processos relacionados aos meios físico e biótico, em especial ao longo da operação da rodovia, comprometendo a definição de medidas corretivas, para o passivo da estrada e medidas de mitigação apropriadas aos impactos da sua ampliação.</p>

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul (continuação):

Grupo	Abordagem dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica		Análise crítica e algumas implicações da abordagem dos impactos da BR-101 Sul*
	Descrição	Referências	
Alterações na bacia hidrográfica, habitat aquáticos, planícies de inundação e zonas úmidas	<p>A presença de estradas está altamente relacionada a alterações no fluxo d'água na paisagem, tanto por mudanças na morfologia dos cursos d'água, na dinâmica hidrológica e na qualidade da água. Os efeitos, relacionados a alterações nos movimentos da água, aumento da probabilidade de deslizamentos de terra, erosão, transporte de sedimentos, interrupção ou alteração do fluxo laminar e mudanças nos padrões de escoamento, incidem sobre as redes de fluxo e os processos de bacias hidrográficas como um todo, alcançando locais muito distantes das estradas e afetando a quantidade e qualidade das águas superficiais e de recarga dos aquíferos subterrâneos. As estradas afetam a dinâmica natural dos sistemas hídricos, alterando tanto o balanço entre a intensidade dos picos de fluxos e a resistência a mudanças dos cursos d'água e áreas ribeirinhas, como a distribuição dos pontos de início e fim dos fluxos de materiais na rede hídrica. As dinâmicas de manchas aquáticas e ribeirinhas são críticas para os ecossistemas, criando, destruindo e modificando a geomorfologia das estruturas dos cursos d'água, estando estreitamente ligadas com as estruturas do meio biótico, incluindo a vegetação ciliar e as comunidades lótic e bentônicas. Essas dinâmicas, sejam naturais ou alteradas pelas estradas, são processos compreendidos apenas na escala da paisagem.</p> <p>O arranjo da rede de estradas em relação à rede hídrica e às rotas dos fluxos gravitacionais desencadeia interações entre estas estruturas e os fluxos de água, energia, sedimentos e organismos. Isso faz com que um segmento da estrada possa funcionar como barreira, bloqueando fluxos, como fonte, concentrando-os, como receptáculo, dissipando-os, ou ainda como corredor, redirecionando-os. Essas interações podem fazer com que a estrada assum a função de: a) corredor para os fluxos d'água, por intermédio da sua superfície, ou das suas valas de drenagem; b) fonte de fluxos d'água para a rede de cursos d'água, através de galerias e bueiros e valas de drenagem; c) receptáculo de sedimentos, interceptando deslizamentos, ou sendo a própria fonte de deslizamentos, ou ainda funcionando como corredor, transmitindo fluxos de materiais para cursos d'água.</p> <p>As implicações ecológicas chave das perturbações hidrológicas e geomorfológicas é que áreas não perturbadas, remanescentes em numerosos pontos dos cursos d'água, funcionam como refúgios e fontes de elementos de colonização no período de recuperação, pós-perturbação. Se as estradas aumentam a frequência e intensidade dos picos de fluxos e os fluxos de materiais, a extensão de fluxos de materiais em pequenos cursos d'água pode aumentar e, possivelmente, estender a zona de perturbação ao longo dos canais principais, reduzindo a extensão de refúgios. Dessa forma, os efeitos das redes de estradas sobre padrões espaciais de perturbações podem influenciar as taxas de sobrevivência e recuperação de manchas perturbadas nas redes de cursos d'água, o que afeta a resiliência dos ecossistemas. Na paisagem, a interação da rede de estradas com a rede hídrica aumenta a extensão e o volume de drenagem e os picos de fluxo no conjunto do sistema, afetando os fluxos de transporte de materiais na bacia hidrográfica, na dependência da localização da estrada em relação à rede de drenagem e da topografia. A associação das estradas com os usos da terra ou elementos da conformação do seu entorno interferem na magnitude e grau do impacto relacionado ao transporte de sedimentos.</p>	<p>Forman e Alexander (1998), Swanson et al. (1999), Jones et al. (2000), Trombulak e Frissell (2000), Seiler (2001), Carr, Fahrig e Pope (2002), National Research Council (2005), Coffin (2007), Goosem (2007) e Robinson, Duinker e Beazley (2010).</p>	<p>Na fase de implantação do empreendimento, os processos erosivos e de sedimentação foram associados a atividades de terraplenagem, para a construção da nova pista e de estruturas de apoio à obra, a atividades pra obtenção de materiais de construção, em jazidas e áreas de empréstimo, e aos bota-foras, em especial quando realizadas em áreas mais suscetíveis (solos erodíveis e altas pendentes) e em períodos de chuvas. Solos expostos, carregados por águas pluviais e correntes, se depositariam em locais mais baixos, podendo atingir rios e córregos. O material grosseiro se depositaria e a fração mais fina permaneceria em suspensão por longo tempo e seria transportada ao longo do canal fluvial a maiores distâncias. Ainda assim, não se esperava que estas intervenções na fase de implantação provocassem alterações que pudessem comprometer marcadamente a qualidade ambiental, pela sua abrangência local e duração temporária. Já os processos erosivos e a sedimentação, poderiam ocorrer na fase de operação, com a erosão ou deposição de sedimentos nas margens dos cursos d'água interceptados pela rodovia. Teriam efeitos extremamente reduzidos, desde que os serviços de manutenção rodoviária não fossem negligenciados. Foi previsto ainda o impacto relativo à alteração na estrutura de taxocenoses aquáticas, relacionado às travessias dos sistemas hídricos, decorrente da alteração das taxas de transporte de sedimentos após a retirada da vegetação e movimentações de terra às margens e no leito fluvial, aumento da quantidade de material em suspensão na água e assoreamento. Essas alterações poderiam resultar no deslocamento da fauna para áreas menos alteradas, modificando o padrão normal de distribuição espacial do taxa e aumentando a mortalidade de alguns grupos menos tolerantes ou dotados de menor capacidade de dispersão.</p>

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 3 – Confrontação entre as abordagens dos impactos ambientais das estradas descritos na literatura científica e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul (continuação):

Grupo	Abordagem dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica		Análise crítica e algumas implicações da abordagem dos impactos da BR-101 Sul*	
	Descrição	Referências		
Alterações na bacia hidrográfica, habitat aquáticos, planícies de inundação e zonas úmidas	Continuação	<p>Continuação: Nas bacias hidrográficas certas áreas naturalmente produzem taxas altas ou baixas de picos de inundação e fluxos de materiais, afetando a distribuição de habitat e de organismos no tempo e no espaço, padrões e processos que são aumentados pelas estradas a jusante dos pontos onde os cursos d'água são interceptados e de áreas com altas densidades de cruzamentos. Há uma maior probabilidade de deslizamentos em áreas declivosas ou após desmatamentos, com o aumento de deposição de sedimentos nas várzeas. Com alterações nas taxas de erosão nos canais, ocorrem pulsos de saída de sedimentos por toda a bacia hidrográfica. Altas concentrações de sedimentos em suspensão podem resultar em mortalidade direta de organismos e diminuição da produtividade aquática e, quando depositados, criam-se áreas rasas, quando, combinando ao aumento da turbidez e da temperatura e à redução de bancos de vegetação, podem ocorrer alterações nas populações e comunidades da ictiofauna. Se a área impermeabilizada atinge 30 a 40% da área ocupada pela estrada e suas estruturas, cerca de 30% da água de precipitação torna-se escoamento superficial. Atingindo 80 ou 90%, essas taxas de conversão chegam a 55%. Isso prejudica a recarga subterrânea e tende a degradar cursos d'água superficiais, aumentando a frequência de inundações. A impermeabilização de 10% de da área já impacta a rede de fluxos e acima de 25% já resultaria em degradação dos córregos próximos, por instabilidade morfológica, poluição e alteração ou empobrecimento das comunidades de peixes. Essas alterações também podem dificultar ou impedir a movimentação de peixes e outros organismos aquáticos, resultando em efeito de barreira das estradas também em relação aos sistemas hídricos.</p>	Idem.	<p>Continuação: Esses efeitos sobre a fauna aquática, que estariam espacialmente mais restritos ao trecho diretamente afetado e tendendo a ser mais importantes no domínio dos fragmentos florestais, poderiam ter reflexos em locais mais distantes. Mesmo assim, os impactos seriam temporários e reversíveis, limitados à implantação do empreendimento, com gradual reestruturação das características originais das biocenoses aquáticas após o término das obras. De uma forma geral, mais uma vez foi atribuída menor significância aos impactos do empreendimento sobre ambientes aquáticos e ecossistemas a estes associados, reduzidos a eventos restritos apenas à fase de implantação do empreendimento e à uma escala espacial localizada, extrapolando pouco a estrada e sua faixa de domínio. Foram desconsideradas as interações da estrada com as redes hídricas e as alterações de fluxos, regime de perturbações e processos disto decorrentes nas várias bacias hidrográficas interceptadas pelo empreendimento. Consequentemente, foram também desconsiderados os impactos na escala da paisagem e no longo prazo, como a fragmentação de ambientes aquáticos e alterações na composição de comunidades de organismos aquáticos e terrestres ligadas a estas dinâmicas. Os processos erosivos e a sedimentação foram tratados mais na perspectiva da conservação da estrada, o que não basta para a conservação dos cursos d'água e das populações e comunidades.</p>
	Danos sobre planícies de inundação e zonas úmidas	<p>A impermeabilização associada a impactos na rede de fluxos e degradação de córregos, resulta também no empobrecimento das comunidades de peixes e da diversidade de espécies de zonas úmidas. Mudanças nos regimes de perturbação natural de planícies de inundação e zonas úmidas, dinâmicas das quais dependem estes ecossistemas e os organismos que abrigam, podem aumentar, restringir e interromper fluxos d'água, alterando a composição das comunidades da flora e fauna destes ambientes e ainda facilitar a dispersão de propágulos, que podem atingir a rede hídrica nos cruzamentos com as estradas, contribuindo a invasão de plantas exóticas em planícies de inundação e zonas úmidas. A diversidade de espécies de zonas úmidas está negativamente correlacionada com estradas pavimentadas localizadas a até 2 km de distância e o aumento da densidade de estradas está à perda de biodiversidade, representada pelo declínio da riqueza de aves, plantas, anfíbios e répteis de zonas úmidas adjacentes. Não raro, a construção de estradas implica na drenagem e consequente destruição de zonas úmidas.</p>	Forman e Alexander (1998), Swanson et al. (1999), Jones et al. (2000), Seiler (2001), Carr, Fahrig e Pope (2002) e Forman et al. (2003).	<p>Essa lacuna dos estudos pode implicar em agravamento dos danos às redes hídricas interceptadas pela rodovia, que atravessa 46 rios e afeta grandes complexos lacunares e mais outros tantos corpos d'água indiretamente. A avaliação insuficiente dos impactos pode amplia-los. Ao não identificar adequadamente os impactos da rodovia existente e da sua duplicação, a cada trecho da estrada, se perde a oportunidade de promover a correção, mesmo que parcial, dos problemas pré-existentes e de atuar para a minimização de outros que poderão advir da nova intervenção. Tudo isso compromete também as medidas de mitigação propostas, restringindo seu alcance e eficácia.</p>

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Comparando as **Figuras 3 e 4** e as informações apresentadas na **Tabela 3**, explicita-se que muitos impactos ambientais das estradas descritos na literatura não foram tratados ou o foram de forma equivocada ou incompleta no EIA (DNER-IME, 1999) e não complementadas depois, adicionalmente, pelo PBA da BR-101 Sul (DNER-IME, 2001).

Não porque os estudos não sejam extensos. Por exemplo, a caracterização do meio biótico constante do EIA, se infere, foi provavelmente uma etapa muito trabalhosa e onerosa do estudo, visto que teve como alvo os diferentes grupos bióticos ocorrentes nas áreas de influência do empreendimento, incluindo trabalhos de campo. No entanto, apesar de todos os esforços e recursos aplicados para a caracterização da fauna e flora, o EIA deixou de avaliar como a estrada interfere nos processos ecológicos, ou seja, quais são de fato os impactos da BR-101 Sul, que processos são afetados e como isto vem se expressando pela existência e uso pregresso da rodovia e quais as perspectivas de agravamento dos danos com a duplicação da estrada.

Assim, um dos problemas fundamentais no licenciamento da BR-101 Sul é não alcançar e não considerar a interferência da estrada sobre processos ecológicos, o cerne da compreensão dos impactos destas estruturas. O processo de identificação e avaliação dos impactos dessa estrada, no geral, se ateve aos danos localizados e transitórios da construção da nova pista da estrada e não compreendeu investigações sobre como a permanência dessa estrutura na paisagem e o seu uso compromete a conectividade, por bloquear ou alterar substancialmente fluxos naturais, ao mesmo tempo em que favorece novos fluxos, estranhos ao ambiente original. O licenciamento, portanto, acabou por desconsiderar a interferência da estrada e sua contribuição para a fragmentação, ruptura de processos ecológicos, perda de resiliência e funções dos ecossistemas, alterações em populações e comunidades e, ao final, a perda de biodiversidade associada à estrada.

A comparação entre o que descreve a literatura científica e o que trazem os estudos ambientais do empreendimento permite detalhar melhor essa importante lacuna no licenciamento.

Analisando a **Figura 3** e associando-se a isto a observação da descrição dos impactos contida na da **Tabela 3**, é possível verificar que os impactos das

estradas descritos na literatura científica se associam e se relacionam a alterações ou rupturas de processos ecológicos, por alteração ou interrupção de fluxos, dinâmicas e mudanças em regimes naturais de perturbação, como, por exemplo:

- Observando as descrições reunidas no grupo dos impactos sobre ambientes terrestres, matas ciliares e planícies de inundação, vê-se que o habitat de borda criado ao longo da estrada propicia a substituição de espécies e abre caminho para novos fluxos na paisagem, como a dispersão de espécies exóticas e invasoras, concorrendo para a perda de habitat, fragmentação, perda de conectividade, com redução ou ruptura dos fluxos e dinâmicas populacionais de organismos nativos na paisagem (FORMAN et al., 1997; FORMAN e COLLINGE, 1997; FORMAN e ALEXANDER, 1998; SEILER, 2001; CARR, FAHRIG e POPE, 2002; FORMAN et al., 2003; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005; COFFIN, 2007; GOOSEM, 2007).
- O grupo dos impactos relacionados ao efeito de barreira das estradas está vinculado a alterações ou ruptura de processos de migração e dispersão de organismos na paisagem (FORMAN, 1999; JAEGER et al., 2005; BISSONETTE e ADAIR, 2008; EIGENBROD, HECNAR e FAHRIG, 2008; MCGREGOR, BENDER e FAHRIG, 2008; EIGENBROD, HECNAR e FAHRIG, 2009; GLISTA, DeVAULT e DeWOOD, 2009; ABBOTT, BUTLER e HARRISON, 2012).
- No grupo de impactos resultantes da introdução de poluentes na paisagem, a contaminação de cursos d'água está relacionada à fragmentação de ambientes aquáticos, comprometimento da produtividade e alterações na composição de populações por perda de espécies sensíveis (FORMAN e ALEXANDER, 1998; FORMAN et al., 2003; COFFIN, 2007).
- No grupo dos impactos relacionados a alterações nas bacias hidrográficas, habitat aquáticos, planícies de inundação e zonas úmidas, os impactos se relacionam às alterações e interrupções dos fluxos e mudança nos regimes de perturbação naturais dos cursos d'água, com mudanças na morfologia e dinâmicas hidrológicas, fragmentação dos ambientes aquáticos, promoção de fluxos de organismos exóticos e invasores, alterações nos padrões de movimentação de organismos, alterações e empobrecimento das

comunidades que se ligam intrinsecamente às dinâmicas dos cursos d'água, comprometendo, por exemplo, a produtividade aquática e a ciclagem de nutrientes (FORMAN e ALEXANDER, 1998; SWANSON et al., 1999; JONES et al., 2000; FORMAN et al. 2003).

Agora, olhando a **Figura 4** e observando as descrições contidas em cada um dos elementos gráficos e, na **Tabela 3**, a abordagem de cada um dos impactos da duplicação da BR-101 Sul, é possível verificar que o licenciamento associa os impactos desta estrada a eventos – e não a processos ecológicos – de caráter restrito, espacial e temporalmente, e expressão de efeitos transitória. Por exemplo:

- No grupo dos impactos sobre ambientes terrestres, matas ciliares e planícies de inundação, ao mencionar a fragmentação de ambientes terrestres, a referência dos estudos se limita à supressão de vegetação nativa remanescente em áreas que virão a ser ocupadas pela estrada.
- No grupo de impactos relacionados ao efeito de barreira, ao avaliar ruídos, o estudo relaciona esta perturbação apenas ao afugentamento transitório da fauna das adjacências de áreas de apoio ou da obra em si, sem considerar as alterações e prejuízos persistentes das estradas aos padrões de movimentação de animais na paisagem.
- No grupo de impactos relacionados à introdução de poluentes na paisagem, a poluição associada à BR-101 Sul se reduz a danos à vegetação e contaminação de corpos hídricos, com mudanças nas taxas de sedimentação e alteração da composição de comunidades de organismos aquáticos, mas, tudo isto restrito apenas e tão somente às adjacências da obra e suas estruturas de apoio e serviços e ao período de tempo que corresponde exclusivamente à duração das obras de duplicação.

Por outro lado, também o conteúdo dos documentos produzidos pelo IBAMA durante o licenciamento (IBAMA, 2013a) revela que o órgão licenciador se alinhou à abordagem mais limitada dos impactos do empreendimento vista no EIA e no PBA. A natureza das exigências, preocupações e ações propostas, registradas nos documentos disponíveis para consulta, revela também grande ênfase e concentração de esforços do órgão licenciador nos impactos pontuais e transitórios das intervenções, também apenas na fase de implantação do

empreendimento. Os relatórios de vistoria, informações técnicas e pareceres disponibilizados se referem, na sua quase totalidade, a questões ligadas à implantação e operação de unidades de serviço da obra de implantação da duplicação da rodovia (canteiros de obras, bota-fora, jazidas minerais exploradas para o fornecimento de materiais para a obra, usinas de asfalto, concreto e solos e outras estruturas). Dentre os documentos disponíveis e analisados, não se encontra elementos que evidenciem a preocupação de induzir que os estudos avaliem e proponham intervenções capazes de restabelecer a conectividade e processos ecológicos na paisagem afetada pela estrada, já bastante alterada.

As diretrizes para uma abordagem apropriada dos impactos da estrada deveriam constar dos termos de referência emitidos pelo órgão licenciador, pois estes balizam a realização dos estudos ambientais prévios. O único TR disponível para consulta trata apenas de atividades de mineração necessárias à execução da obra de duplicação da rodovia e, acima de tudo, os próprios estudos revelam que o enfoque adotado não contempla uma visão mais abrangente e que capture os reais impactos da estrada.

Ao deixar formular termos de referência que estabeleçam premissas claras para a realização de estudos ambientais e os façam avaliar adequadamente como as estradas interagem com o ambiente no qual está ou será inserida, como essas interações interferem nos processos ecológicos, como tais interferências se expressam e que alcance possuem, o órgão licenciador deixa de orientar o processo do licenciamento para a correta identificação dos impactos reais do empreendimento. Sem isso, não são obtidas respostas acertadas sobre como evitar ou minimizar os impactos ecológicos e o licenciamento acaba por contribuir pouco para o aperfeiçoamento de projetos e sua compatibilização com a conservação da natureza.

A ampliação, modernização ou recuperação de uma estrada é uma oportunidade para a realização de ajustes e correção de problemas ambientais pregressos e para a minimização de impactos negativos pré-existentes (FORMAN et al., 2003). No caso da BR-101 Sul, o licenciamento não foi capaz de promover muitos avanços importantes nesse sentido, por não compreender

as interações da estrada com outros elementos da paisagem e suas consequências.

A etapa do processo de identificação e avaliação dos impactos ambientais é crucial para o planejamento de qualquer empreendimento, influenciando decisivamente nos parâmetros a adotar em todas as etapas posteriores do licenciamento ambiental. Por ser o ponto inicial e preceder todos os demais aspectos tratados nos estudos ambientais, este fundamento vai determinar os parâmetros para o desenvolvimento do próprio estudo, do projeto do empreendimento e do plano básico ambiental, voltado à mitigação e monitoramento dos seus impactos.

Acessar e utilizar o conhecimento científico sobre as interações entre o ambiente natural e as estradas e de como estas estruturas interferem nos fluxos e processos ecológicos são condições fundamentais para a identificação e avaliação adequadas de impactos e para a condução do licenciamento ambiental deste tipo de empreendimento. Equívocos e lacunas nessa etapa primordial podem comprometer o processo como um todo. No caso do licenciamento da duplicação da BR-101 Sul, apesar de partir de pressuposto errôneo e subsidiar decisões pouco acertadas ao longo de todo o processo, o EIA concluiu que o empreendimento era ambientalmente viável (DNER-IME, 1999) e o órgão licenciador o aprovou, juntamente com o PBA correspondente, sem que, na verdade, a grande maioria dos reais impactos ecológicos da intervenção tenha sido identificada e avaliada.

3.1.2. Alcance dos impactos:

A delimitação do alcance dos impactos de um empreendimento depende da avaliação de aspectos espaciais e temporais do alcance dos seus efeitos sobre espécies, populações, ecossistemas e processos ecológicos. Alguns conceitos teóricos, relacionados às escalas de análise dos impactos das estradas auxiliam nesta tarefa.

Segundo o National Research Council (2005), as estradas interagem com os ecossistemas em uma ampla gama de escalas. Usualmente, a menor escala espacial avaliada (escala local) abrange uma centena de metros e corresponde a um trecho de estrada. Já a escala intermediária compreende uma ou

dezenas de quilômetros e corresponde a um sistema de uma região geográfica definida politicamente (um estado) ou ecologicamente (uma bacia hidrográfica ou ecorregião). A macroescala, por sua vez, se estende por centenas ou milhares de quilômetros, sendo definida por unidades regionais ecológicas correspondentes a fronteiras políticas de países ou biomas.

Da mesma forma, a resposta de espécies, populações, ecossistemas e processos ecológicos aos impactos podem ser percebida em intervalos de tempo que variam de minutos a séculos.

Portanto, não há uma escala espacial e temporal "correta" para a compreensão das interações entre estradas e ecossistemas e seus componentes, mas, sim, intervalos múltiplos e sobrepostos de escalas que correspondem a estruturas específicas e aos processos ecológicos em consideração (National Research Council, 2005). A **Figura 5** revela algumas das escalas espaciais e temporais nas quais os efeitos ecológicos das estradas são mais frequentes:

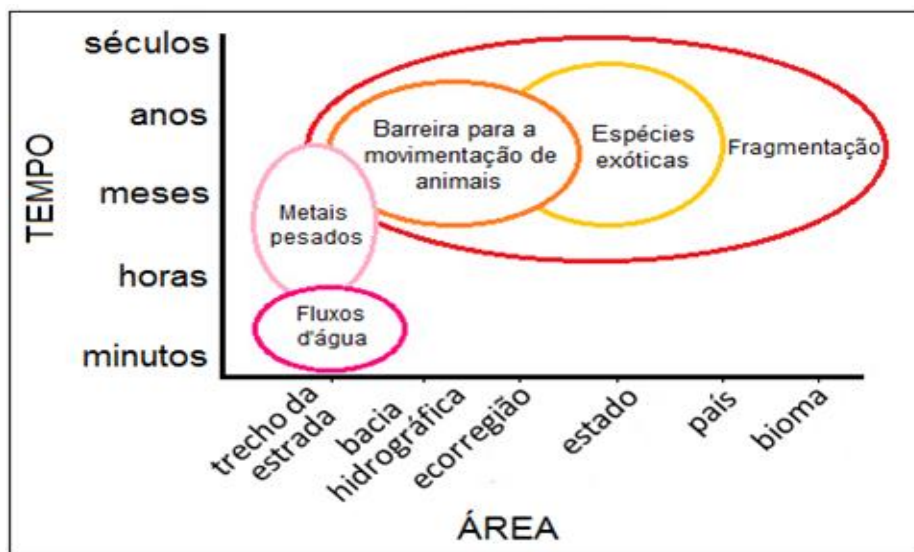


Figura 5 – Dimensões espaciais e temporais dos efeitos ecológicos de estradas (National Research Council, 2005).

Os processos ecológicos ocorrem em escalas variáveis e particularizadas e, portanto, avaliações realizadas em escalas mal dimensionadas podem não revelar alguns efeitos ecológicos das estradas. Muitos efeitos podem ocorrer em mais de uma dimensão espacial, como, por exemplo, os efeitos sobre os padrões de migração (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005).

Portanto, seja para o planejamento da construção de uma estrada, seja para ampliar e modernizar aquelas existentes, é necessário que as escalas de espaço e tempo da expressão dos efeitos destas estruturas sejam consideradas adequadamente. Do contrário, ficam comprometidos os processos de identificação e avaliação dos impactos e o delineamento dos programas ambientais de mitigação e monitoramento, assim como os projetos podem deixar de incorporar alternativas tecnológicas e soluções que evitem ou minimizem impactos ambientais importantes, ou tentar contê-los de forma inadequada, simplesmente por negligenciar a análise de como estes se expressam no tempo e no espaço.

Contudo, as escalas temporal e espacial que usualmente se aplicam no planejamento, avaliação ou gestão ambiental de estradas estão aquém das amplas dimensões nas quais ocorrem os seus impactos ecológicos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005). Isso ocorreu no processo de licenciamento da BR-101 Sul, conforme evidenciam as discrepâncias entre as abordagens dos impactos na literatura científica e nos estudos ambientais do licenciamento, apresentadas e discutidas mais adiante, e na classificação dos impactos pelo EIA, conforme apontam os resultados da análise do referido processo, apresentados e discutidos a seguir.

O EIA do empreendimento (DNER-IME, 1999), como tem sido praxe neste tipo de estudo, se valeu de uma Matriz de Classificação dos Impactos, na qual graduações ou pontuações são atribuídas a cada um dos impactos identificados, método que comporta um grau de subjetividade significativo. A partir desta matriz, os impactos são classificados quanto à natureza (positivo ou negativo), magnitude, importância, duração (permanente ou temporário), reversibilidade, abrangência (local ou regional), forma (direto ou indireto), e temporalidade (imediate, de curto ou médio prazo). Segundo o EIA da BR-101 Sul, na hierarquização dos impactos, independente da natureza positiva ou negativa, os parâmetros de magnitude, importância, duração e reversibilidade, integrados, representariam fielmente a sua significância (expressa como fraca, moderada, forte e muito forte), determinando o nível de preocupação a ser dispensado a cada.

A **Tabela 4** resume a avaliação e classificação dos impactos ambientais da duplicação da BR-101 Sul, segundo o EIA do empreendimento (DNER-IME, 1999).


Tabela 4 – Avaliação e classificação dos impactos ambientais no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da duplicação da BR-101 Sul, quanto à natureza e significância:

Denominação do impacto no EIA	Avaliação do impacto em cada fase do empreendimento								
	Fase avaliada			Natureza do impacto			Significância do impacto		
	PI	I	O	PI	I	O	PI	I	O
Aumento da emissão de ruídos, poeiras e gases	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Início e aceleração de processos erosivos	Vermelho	Verde	Verde	Rosa	Amarelo	Amarelo	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Carreamento de sólidos e assoreamento da rede de drenagem	Vermelho	Verde	Verde	Rosa	Amarelo	Amarelo	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Interferências com a qualidade das águas superficiais e subterrâneas	Vermelho	Verde	Verde	Rosa	Amarelo	Amarelo	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Interferências com mananciais hídricos	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Azul claro	Azul moderado	Azul claro
Alterações no desenvolvimento de atividades minerárias	Vermelho	Verde	Verde	Rosa	Azul	Azul	Azul claro	Azul moderado	Azul claro
Deposição de materiais de descarte	Vermelho	Verde	Verde	Rosa	Amarelo	Amarelo	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Supressão de vegetação nativa	Verde	Verde	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Rosa	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Ampliação da fragmentação dos ambientes florestais	Verde	Verde	Vermelho	Amarelo	Amarelo	Rosa	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Aumento da pressão sobre recursos vegetais	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Riscos de incêndios	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Alterações nos hábitos da fauna	Vermelho	Verde	Vermelho	Rosa	Amarelo	Rosa	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Aumento da caça predatória	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Formação de ambientes propícios ao desenvolvimento de vetores	Vermelho	Verde	Vermelho	Rosa	Amarelo	Rosa	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Alterações nas estruturas de taxocenoses aquáticas	Vermelho	Verde	Vermelho	Rosa	Amarelo	Rosa	Azul claro	Azul claro	Azul claro
Possibilidade de acidentes com cargas perigosas	Vermelho	Verde	Verde	Rosa	Amarelo	Azul	Azul claro	Azul moderado	Azul forte

Fonte: Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da duplicação da BR-101 Sul (DNER-IME, 1999).


Legenda:


- P – Fase de pré-implantação
- I – Fase de implantação
- O – Fase de operação


 Impacto não avaliado

 Impacto Negativo


 Impacto Positivo

 Impacto avaliado na fase do empreendimento

 Impacto não avaliado na fase do empreendimento

 Impacto de significância fraca

 Impacto de significância moderada

 Impacto de significância forte

A **Tabela 4** mostra que os impactos da duplicação da BR-101 Sul na fase de operação foram todos classificados de fraca significância. Exceção a isso foi à avaliação do impacto relativo à possibilidade de acidentes com cargas perigosas, embora se deva destacar que o enfoque dado pelo estudo estava prioritariamente voltado para as consequências deste tipo de acidentes sobre populações humanas, tendo sido este impacto relacionado dentre aqueles incidentes sobre o meio sócio econômico (**Tabela 2**).

Isso resultou de uma conclusão errônea do EIA: a de que o empreendimento, à semelhança do que, segundo os estudos, ocorria em outras grandes obras lineares, concentrava suas interferências negativas com maior significância, ou seja, com probabilidades de transtornos mais sérios à população e aos componentes ambientais, durante a fase de construção. Nessas bases, o EIA asseverou a viabilidade ambiental do empreendimento e dirigiu os estudos quase que exclusivamente para a fase de implantação da duplicação da rodovia (DNER-IME, 1999).

Essa premissa fundamental do EIA, defendida no estudo e aceita no processo de licenciamento como um todo, resultou na menor relevância dada aos impactos na fase de operação da estrada no contexto da intervenção, desprezando os efeitos diretos e indiretos, de longo alcance e no longo prazo, percebidos somente em escalas adequadas de espaço e tempo (SMITH, HARIS e MAZZOTTI, 1996; FORMAN et al., 1997; FORMAN e ALEXANDER, 1998; SPELLERBERG, 1998; SWANSON et al., 1999; JONES et al., 2000; TROMBULAK e FRISSELL, 2000; SEILER, 2001; CARR, FAHRIG e POPE, 2002; FORMAN et al., 2003; COFFIN, 2007; GOOSEM, 2007; ROEDENBECK et al., 2007; ROBINSON, DUINKER E BEAZLEY, 2010), muito mais amplas do que aquelas empregadas nos estudos ambientais do licenciamento.

A abordagem adotada no licenciamento, que não compreende a dimensão da interferência das estradas sobre processos ecológicos e enfoca apenas eventos pontuais e transitórios, é uma das razões para a desconsideração dos impactos do empreendimento na fase de operação da estrada, quando muitos vão ocorrer e todos vão se revelar e se expressar mais claramente.

3.2. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS ABORDAGENS TEÓRICO-CIENTÍFICA E DO LICENCIAMENTO DA BR-101 SUL QUANTO ÀS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO E MONITORAMENTO DOS IMPACTOS DAS ESTRADAS

Apenas para verificar o reflexo dos equívocos da avaliação dos impactos no licenciamento da BR-101 Sul, seguindo o mesmo método utilizado anteriormente, algumas medidas de mitigação propostas pela teoria ecológica foram confrontadas com aquelas propostas no EIA e o PBA da BR-101 Sul (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001) (**Tabela 5**). Contudo, neste caso, foram colhidos apenas alguns exemplos de medidas de mitigação possíveis na pesquisa à literatura, não havendo a pretensão de aprofundar e detalhar este assunto. Em seguida, a **Tabela 6** apresenta uma síntese dessa análise, indicando quais os impactos das estradas, conforme descritos na literatura científica, foram contemplados no PBA do empreendimento, tendo sido tudo sistematizado também de acordo com os quatro grandes grupos de impactos definidos a partir da **Figura 3**, embora sem a divisão dos grandes grupos em ou subdivisão ligeiramente diferente daquela antes utilizada.

Ao comparar as informações contidas na **Tabela 5**, será possível perceber que a literatura científica preconiza medidas de mitigação dos impactos das estradas focadas em soluções de designe e manejo da estrada, que propiciem a manutenção ou restabelecimento de fluxos, enquanto que aquelas propostas no EIA e no PBA, além de restritas à faixa de domínio da rodovia e áreas afetadas diretamente pelas obras, têm um marcado caráter corretivo de danos menores e pontuais.

Por sua vez, observando a **Tabela 6**, que sintetizada as informações relativas aos impactos das estradas contemplados por medidas contidas no PBA da BR-101 Sul, se explicita que os problemas relativos à identificação e avaliação dos impactos ambientais originados no EIA, como esperado, se refletiram e comprometeram as decisões quanto à definição das medidas de mitigação para os impactos da duplicação da BR-101 Sul. De fato, medidas de mitigação não poderiam ser propostas para impactos não previstos.

Tabela 5—Confrontação entre algumas medidas de mitigação para os impactos das estradas descritas na literatura científica e no licenciamento da duplicação da BR-101 Sul:

Grupo	Mitigação dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica	Mitigação dos impactos da BR-101 Sul propostas no EIA e no PBA*
Alterações nos habitat terrestres e de matas ciliares e planícies de inundação	<ul style="list-style-type: none"> • Articulação com programas e projetos de conservação locais e regionais para a mitigação de impactos indiretos e de longo alcance, como fragmentação e perda de habitat indireta. • Adotar o manejo ecológico das faixas de servidão, de forma a manter comunidades de plantas nativas nas faixas laterais das estradas pode reduzir a invasão por espécies exóticas. O plantio de arbustos ao invés de gramíneas nas faixas de domínio pode resultar em alta riqueza de espécies, alta densidade populacional e altas taxas de nidificação de aves (FORMAN e ALEXANDER, 1998; SEILER, 2001; KOCIOLEK, 2010). • As roçagens de manutenção da faixa de domínio devem ser menos intensivas, para evitar a tendência à redução da riqueza de espécies e o favorecimento de espécies exóticas, estando indicadas roçagens em seções de áreas diferentes ao longo da estrada ou em faixas paralelas largas em momentos ou intervalos diferentes. Roçagens da faixa de domínio a cada 3 a 5 anos resultam aumento nas taxas de reprodução de aves e roçagens menos frequentes resultam em maior número de espécies de pequenos mamíferos, répteis, anfíbios e insetos. Roçagens feita após o período reprodutivo também favorecem a persistência de vertebrados (FORMAN e ALEXANDER, 1998). • A manutenção da faixa de vegetação nas faixas de domínio de rodovias no Cerrado (stricto sensu) pode contribuir para a conservação da flora, pois podem manter populações de uma parcela representativa das espécies arbóreas típicas do Bioma, servindo ligação entre fragmentos e de refúgio para espécies mais abundantes e resistentes aos impactos antrópicos, que correspondem a 70% das espécies presentes em áreas conservadas (VASCONCELOS e ARAÚJO, 2012). • A presença de lagoas, margens de larguras variáveis, combinações de isolamento e sombra, diferentes ângulos de inclinação e exposição e manchas de arbustos (ao invés de fileiras) – oferecem variabilidade para a riqueza de espécies às margens das estradas (FORMAN e ALEXANDER, 1998). • O efeito de borda pode ser parcialmente mitigado com o manejo e restauração da vegetação (KOCIOLEK et al., 2010) e pela manutenção do dossel da vegetação sobre a superfície da estrada (GOOSEM, 2007). 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar desmatamentos desnecessários, especialmente em formações ciliares. • Revegetação de APP e áreas de passivo ambiental existentes. • Proteção e recuperação da vegetação existente na faixa de domínio durante a fase de obras e operação da rodovia. • Ações educativas junto aos operários da obra para evitar danos à flora. • Uso do paisagismo para recompor a vegetação nativa (estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo) em certos pontos nas faixas de domínio. • Recomposição das áreas degradadas de jazidas exploradas a serviço da obra, áreas dos canteiros de obra e outras estruturas de apoio e serviço associadas à implantação do empreendimento, com medidas de correção do meio físico e o replantio de vegetação, buscando a retomada do uso original e a recomposição do aspecto cênico das áreas afetadas. • Evitar o comprometimento e recompor a vegetação ciliar e, em casos específicos, quando grandes áreas forem desvegetadas, projetar e construir barragens de sedimentação para proteção dos cursos d'água.
Efeito de Barreira	<ul style="list-style-type: none"> • O plantio de espécies lenhosas nativas às margens das estradas pode dar suporte à fauna e reduzir o ofuscamento por faróis, reduzindo as perturbações por iluminação artificial (FORMAN e ALEXANDER, 1998). • A manutenção do dossel da vegetação sobre a superfície da estrada reduz o comportamento de evasão de animais, especialmente pequenos mamíferos e algumas espécies de aves (GOOSEM, 2007). • Para reduzir a perturbação por ruídos podem ser implantadas barreiras acústicas (GRILO, 2012), estimulado o designe e uso de pneus e asfalto mais poroso, que podem absorver e reduzir substancialmente os níveis de ruídos, além de manter acostamentos de terra e vegetação (KOCIOLEK et al., 2010). • Para evitar atropelamentos, pode ser aumentada a altura das faixas de domínio, para elevar a trajetória de voo de espécies de voo baixo e manter bermas mais largas, para permitir que os animais tenham tempo de percepção da aproximação de veículos e de reação (GRILO, 2012). • Substituir a iluminação das estradas, trocando luzes vermelhas ou brancas por luzes verdes, o que reduz os efeitos negativos de luzes artificiais sobre as aves (como ocorre e já é usado em plataformas de petróleo) (KOCIOLEK et al., 2010). 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalações de passagens de fauna (túneis, pontes, cercas), além da instalação de refletores e placas de sinalização. • As passagens de fauna deveriam ser implantadas, preferencialmente, em locais onde a cobertura florestal ou áreas declivosas ocorressem nos dois lados da rodovia e em áreas distantes dos centros urbanos e de locais que representassem fontes de ruídos. Tais estruturas deveriam se adequar a distribuição natural das populações, possuir uma linha de espécies arbóreas como barreira visual e muros para auxiliar na redução de ruídos, estar associadas a cercas e corredores de vegetação que conduzissem os animais, ser largas o suficiente e adequadas às espécies mais sensíveis do local.

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 5 – Confrontação entre algumas medidas de mitigação para os impactos das estradas descritas na literatura científica e no licenciamento da duplicação da BR-101 Sul (continuação):

Grupo	Mitigação dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica	Mitigação dos impactos da BR-101 Sul propostas no EIA e no PBA* do empreendimento de duplicação da rodovia
Efeito de Barreira (continuação)	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de passagens de fauna, projetadas considerando as questões espécie-específicas e a configuração do entorno (que influenciam o uso destas estruturas e determinam a sua localização adequada), associadas a cercas que conduzam os animais para as passagens e os mantenha fora da estrada (FORMAN et al., 2003; CARR, FAHRIG e POPE, 2002; GOOSEM, 2007; BISSONETTE e ADAIR, 2008; KOCIOLEK et al., 2010; LESBARRÈRES e FAHRIG, 2012). Essa medida deve ser acompanhada de estudos sobre a efetividade do uso destas estruturas, sobre a abundância das espécies afetadas e efeitos dos atropelamentos nos parâmetros populacionais (BAGER e FONTOURA, 2012). • Manter o dossel da vegetação sobre a superfície da estrada pode favorecer a travessia de espécies arbóricolas e aves (GOOSEM, 2007) • Implantar passagens que funcionem para a maioria das espécies (“<i>extended stream crossing</i>”) – estruturas alongadas sobre um curso d’água natural, incluindo margens largas em ambos os lados, com largura cerca de cinco vezes a do curso d’água interceptado – seria suficiente para permitir a travessia de animais pelas margens, inclusive em episódios de fluxos aumentados (LESBARRÈRES e FAHRIG, 2012). 	<ul style="list-style-type: none"> • Sugerida a realização de um diagnóstico do quadro de atropelamentos na fase anterior à duplicação da rodovia, para guiar as decisões quanto à disposição espacial dessas estruturas. • Não foi identificada a proposição de estudos associados à adoção desta medida e relacionados à persistência de populações, manutenção de fluxos e da conectividade na paisagem. • Não foram propostas medidas de mitigação para os ruídos como impacto sobre a fauna, (há proposições voltadas apenas para as populações humanas). • Não foram propostas medidas de mitigação para as perturbações pela iluminação artificial e para prevenir outras alterações comportamentais dos animais pelas estradas.
Introdução de poluentes na paisagem	<ul style="list-style-type: none"> • Manter <i>buffer</i> entre as estradas e cursos d’água para conter o carreamento de sedimentos contaminados para os ecossistemas aquáticos, embora uma boa localização da estrada, inclusive evitando beiras de cursos d’água e planícies de inundação estreitas, e um bom designe ecológico com relação à encostas, solos e hidrologia, possa ser melhor estratégia do que depender de <i>buffers</i> largos para absorção de sedimentos (FORMAN e ALEXANDER, 1998). • Instalar canais gramados para drenagem da água das estradas, o que reduz a concentração de metais tóxicos sólidos e metais pesados (FORMAN e ALEXANDER, 1998). • Intoxicações de animais e a eliminação de fontes de poluentes podem ser mitigados, em parte, através de práticas que visem o uso de produtos não tóxicos para manutenção da estrada (KOCIOLEK et al., 2010) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensacar o lixo gerado nos canteiros e alojamentos, para o recolhimento pelo serviço local ou para seu transporte a locais indicados pelas Prefeituras e, alternativamente, enterrar o lixo degradável, adotando procedimentos que evitassem contaminação dos cursos d’água e incêndios. • Tratar as águas servidas em fossas sépticas, sumidouros e caixas de gordura, com deságue final distante de poços ou cursos de captação. • Para conter a poluição atmosférica, se propunha o enclausuramento e filtragem de emissões de unidades industriais, a implantação de barreiras verdes, o uso de barreiras redutoras dos gases nas áreas da obra e de apoio e serviços, além de afastar o traçado da rodovia de forma a evitar centros urbanos. Na fase de operação, sem oferecer detalhamento das medidas, o PBA indicava que caberia ao empreendedor a manutenção da pavimentação e das ações de engenharia de tráfego, para minimizar emissões veiculares, prevendo que tais ações deveriam ocorrer ao longo de toda a vida útil da rodovia. • Controle do teor de umidade do solo com de aspersões periódicas dos acessos às obras e umidificação de áreas e materiais extraídos e beneficiados. • Treinamento de pessoal para atuar no caso de derramamento de cargas perigosas e sinalização dos trechos críticos e construção de tanques de retenção especialmente em trechos próximos aos mananciais.

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 5 – Confrontação entre algumas medidas de mitigação para os impactos das estradas descritas na literatura científica e no licenciamento da duplicação da BR-101 Sul (continuação):





Grupo	Mitigação dos impactos ecológicos das estradas, segundo a literatura científica	Mitigação dos impactos da BR-101 Sul propostas no EIA e no PBA* do empreendimento de duplicação da rodovia
Alterações na bacia hidrográfica, habitat aquáticos, planícies de inundação e zonas úmidas	<ul style="list-style-type: none"> • Adotar o manejo ecológico das faixas de servidão, com a manutenção de comunidades de plantas nativas e o plantio de espécies lenhosas nativas nas faixas laterais das estradas pode aumentar a drenagem da água oriunda da estrada e reduzir a erosão dos solos (FORMAN e ALEXANDER, 1998). • Implantar as ecopassagens sugeridas por Lesbarrères e Fahrig (2012), em pontos nos quais a estrada intercepta cursos d'água, mantendo margens livres largas em ambos os lados, com largura cerca de cinco vezes a do curso d'água interceptado – além de permitir os fluxos da fauna e aumentar a conectividade, uma vez que a sua localização influencia este parâmetro – é uma medida com potencial para fazer com que a estrada interfira menos nos regimes naturais de fluxos e de perturbações dos cursos d'água, restringindo menos a passagem de água e materiais, mesmo em picos de fluxos, e permitindo a manutenção de certa a mobilidade do canal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Otimizar dos projetos geométricos e de terraplenagem, para evitar intervenções em áreas mais frágeis à erosão, compensando cortes e aterros e reduzindo empréstimos e bota-foras. • Elaboração de cronograma de obras, para efetuar movimentos de terra em períodos de estiagem, reduzindo a possibilidade de carreamentos de terra de grande magnitude. • Implantar e melhorar os elementos de drenagem previstos em projeto. • Utilizar o paisagismo como barreira vegetativa na redução do <i>run-off</i> da drenagem superficial, visando a proteção do corpo estradal. • Desenvolver estudos e projetos de proteção ambiental (drenagem e revestimento vegetal) em taludes resultantes de cortes e aterros. • Executar a proteção vegetal imediatamente após terraplenagem (cortes, aterros, etc.) e, em casos de cortes altos, fazer a proteção imediatamente após a construção de cada segmento (banquetas). • Corrigir imediatamente os processos erosivos incipientes, ao longo de taludes de cortes e aterros. • Dedicar atenção especial, quando obras exigissem a construção de aterros nas margens dos rios, várzeas e áreas inundáveis, para evitar o aporte rápido de materiais para as águas, tendo sido recomendados estudos hidrológicos e soluções especiais de projeto de engenharia para contornar tais problemas. • Evitar a formação de focos erosivos nas margens dos rios e em áreas adjacentes. • Limitar os desmatamentos nas proximidades de corpos d'água ao mínimo necessário às operações de construção e segurança do tráfego. • Otimizar os processos de implantação, reduzindo a duração do impacto sobre as taxocenoses aquáticas. • Disposição dos esgotos sanitários em fossas sépticas. • Na fase de operação, manutenção de um sistema permanente de monitoramento e conservação de todas as estruturas de drenagem e proteção vegetal ao longo da via.

*Fontes: EIA e PBA do Projeto de Ampliação da Capacidade Rodoviária das Ligações com os Países do Mercosul, BR-101 / Florianópolis (SC) - Osório (RS) (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001).

Tabela 6 – Impactos das estradas sobre o meio físico e biótico passíveis de mitigação, segundo a literatura científica, contemplados dentre as medidas de mitigação propostas no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e nos programas e subprogramas do Plano Básico Ambiental (PBA) da duplicação da BR-101 Sul:

Impactos ambientais das estradas passíveis de mitigação (segundo a teoria ecológica)		Programas e Subprogramas do PBA da BR-101 Sul								
		Controle de processos erosivos	Recuperação áreas degradadas	Paisagismo	Recuperação de passivos ambientais	Material particulado, gases e ruídos	Proteção à fauna	Proteção à flora	Supressão de vegetação	Monitoramento de corpos hídricos	Transporte de produtos perigosos
Alterações nos habitat terrestres, matas ciliares e planícies de inundação	Perda de habitat (direta e indireta)	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Fragmentação	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Efeito de Borda	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Criação de novos habitat para espécies da fauna	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Introdução de espécies da fauna e flora exótica e invasora	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Alterações no regime natural de perturbações por fogo	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Alterações do solo	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Caça, pesca e atividades recreativas	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Danos a planícies de inundação e matas ciliares	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Efeito de barreira das estradas	Mortalidade direta por atropelamentos	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Alterações comportamentais	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Ruídos	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Iluminação artificial	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Introdução de poluentes na paisagem	Poluição atmosférica	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Poluição de corpos hídricos	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Poluição de solos	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Acidentes com cargas perigosas	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Alterações na bacia hidrográfica, habitat aquáticos, planícies de inundação e zonas úmidas	Redução da quantidade e qualidade e fragmentação do habitat	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Alterações no regime natural de perturbações dos cursos d'água	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Alterações de comunidades vegetais de planícies de inundação e zonas úmidas	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Alterações de comunidades de organismos aquáticos	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

Fontes: Smith, Haris e Mazzotti (1996), Forman et al. (1997), Forman e Alexander (1998), Spellerberg (1998), DNER-IME (1999), Forman (1999), Swanson et al. (1999), Forman e Deblinger (2000), Jones et al. (2000), Trombulak e Frissel (2000), DNER-IME (2001), Seiler (2001), Carr, Fahrig e Pope (2002), Forman et al. (2003), Jaeger et al. (2005), Coffin (2007), Goosem (2007), Bissonette e Adair (2008), Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2008), McGregor, Bender e Fahrig (2008), Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2009), Glista, DeVault e DeWood (2009), Kociolek et al. (2010), Robinson, Duinker e Beazley (2010), Jackson e Fahrig (2011), van der Ree et al. (2011), Abbott, Butler e Harrison (2012), Bager e Fontoura (2012), Grilo (2012) e Lesbarrères e Fahrig (2012)

Legenda:  Medidas de mitigação e monitoramento do impacto contempladas no programa ou subprograma  Medidas de mitigação e monitoramento do impacto não contempladas no programa ou subprograma  Medidas de mitigação e monitoramento do impacto contempladas parcial, equivocada ou insatisfatoriamente no programa ou subprograma  Não se aplica

Como se vê na **Tabela 5**, tanto o EIA quanto o PBA da duplicação da BR-101 Sul propõem medidas de mitigação para o empreendimento voltadas para pontos específicos, localizados e restritos a áreas próximas da estrada, e muitas medidas voltadas para a proteção da própria estrada. Por sua vez, a **Tabela 6** mostra que os programas e subprogramas do PBA (DNER-IME, 2001) deixaram de contemplar medidas de mitigação para a maioria dos impactos esperados para o empreendimento, a partir do que indica a teoria ecológica, e que aqueles contemplados, quase na totalidade, o foram de forma parcial, equivocada ou insatisfatória.

Dentre os documentos do licenciamento analisados, se encontram poucos elementos que evidenciem a preocupação de induzir que o projeto preveja e aplique soluções voltadas à mitigação dos impactos negativos do empreendimento durante a sua operação e para a conservação das propriedades, dinâmicas, funções e processos ecológicos. Por exemplo, no PBA, as medidas de controle e acompanhamento de processos erosivos, especialmente na fase de operação do empreendimento, visavam quase todas proteger e conservar o leito estradal e a estabilização de encostas e maciços, ou seja, se concentravam na manutenção da integridade da estrada, sem abranger na sua concepção, por exemplo, princípios de conservação das dinâmicas das redes hídricas ou mitigação da poluição (SWANSON et al., 1999; JONES et al., 2000; FORMAN et al., 2003; COFFIN, 2007).

Há alguns poucos exemplos que são exceção a esse tipo de abordagem predominante no EIA, no PBA e no processo de licenciamento como um todo. Uma destas é a instalação de passagens de fauna, para mitigar a mortalidade direta de animais por atropelamentos, embora a abordagem adotada esteja mais voltada para permitir a movimentação de indivíduos de um lado para o outro da estrada e não revele um enfoque ou vinculação à preocupação de restabelecer fluxos na paisagem e garantir a persistência de populações, conforme a teoria ecológica indica que deva ser o mais acertado para tratar a questão da mortalidade direta por atropelamentos (FORMAN et al., 2003; MCGREGOR, BENDER e FAHRIG, 2008; JACKSON e FAHRIG, 2011; BAGER e FONTOURA, 2012; GRILO, 2012; LESBARRÈRES e FAHRIG, 2012).

Dentre os documentos emitidos pelo órgão licenciador, além dos relatórios, pareceres e outros documentos técnicos, que se referem também à ocorrência de impactos localizados e transitórios da obra de implantação do empreendimento, constam cinco licenças prévias disponíveis para consulta. Destas, duas (LP nº 093/2001 e 103/91) mencionam que o projeto de engenharia deveria contemplar dispositivos que mantivessem “o padrão de drenagem natural e corredores biológicos, especialmente de espécies endêmicas” e a instalação de passagens de fauna (IBAMA, 2013a). Porém, cabe lembrar que a emissão de LPs autoriza a localização e concepção tecnológica do empreendimento e ocorre depois da aprovação dos estudos ambientais, nos quais não se percebe que tais preocupações tenham sido contempladas de forma adequada. Além disso, embora tais recomendações pudessem influenciar o projeto e o PBA do empreendimento, não é possível identificar que tenham sido efetivamente acatadas na definição e proposição de medidas e soluções apropriadas à mitigação dos impactos negativos do empreendimento, mesmo que apenas sobre padrões de drenagem natural e de movimentação da fauna, como indica a **Tabela 6**.

Assim, o licenciamento como um todo acaba por não propor medidas de mitigação para a maioria os impactos da BR-101 Sul, pela sua existência e uso progressivo e pela sua duplicação, que tende a intensificá-los, lacuna que resulta da precária compreensão e avaliação insuficiente do conjunto dos impactos do empreendimento e que implica na subestimação das consequências da expressão dos efeitos da estrada no caso específico.

4. PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES BÁSICAS E MÉTODOS PARA A CONDUÇÃO DE PROCEDIMENTOS DE LICENCIAMENTO DE ESTRADAS, A PARTIR DE CONCEITOS TEÓRICOS CIENTÍFICOS:

Conforme a revisão de literatura e a avaliação do processo de licenciamento da BR-101 Sul permitiu inferir, o primeiro entrave para construir, ampliar, modernizar e operar estradas ambientalmente adequadas está na própria compreensão das interações destas estruturas com outros elementos presentes na paisagem e dos seus impactos ecológicos. Falhas nesta etapa desencadeiam uma sequência de eventos e decisões que comprometem todo o processo, não importando se suas etapas estão a cargo do órgão licenciador ou do empreendedor. Erros na origem afetam a qualidade dos termos de referencia emitidos pelo órgão licenciador, dos estudos ambientais, projetos e programas ambientais de mitigação propostos.

No entanto, se o planejamento do processo estiver inserido numa abordagem baseada na teoria ecológica, a margem de erro na condução do processo se estreita. Portanto, se recomenda dar forte ênfase à fase de planejamento das intervenções (COFFIN, 2007; FORMAN, 1998; ROBINSON, DUINKER e BEAZLEY, 2010; MMA, 2013), de forma a garantir que os elementos úteis e necessários às análises e definições indicados pela teoria ecológica sejam observados e aplicados.

Para organizar esta etapa de planejamento do processo de licenciamento, procurando conferir a este instrumento a necessária efetividade do ponto de vista da minimização dos impactos negativos das estradas, aqui se propõe utilizar um método adaptado a partir de proposições de Robinson, Duinker e Beazley (2010), baseado em conceitos e diretrizes da ecologia das estradas, conforme esquematizado na **Figura 6**.

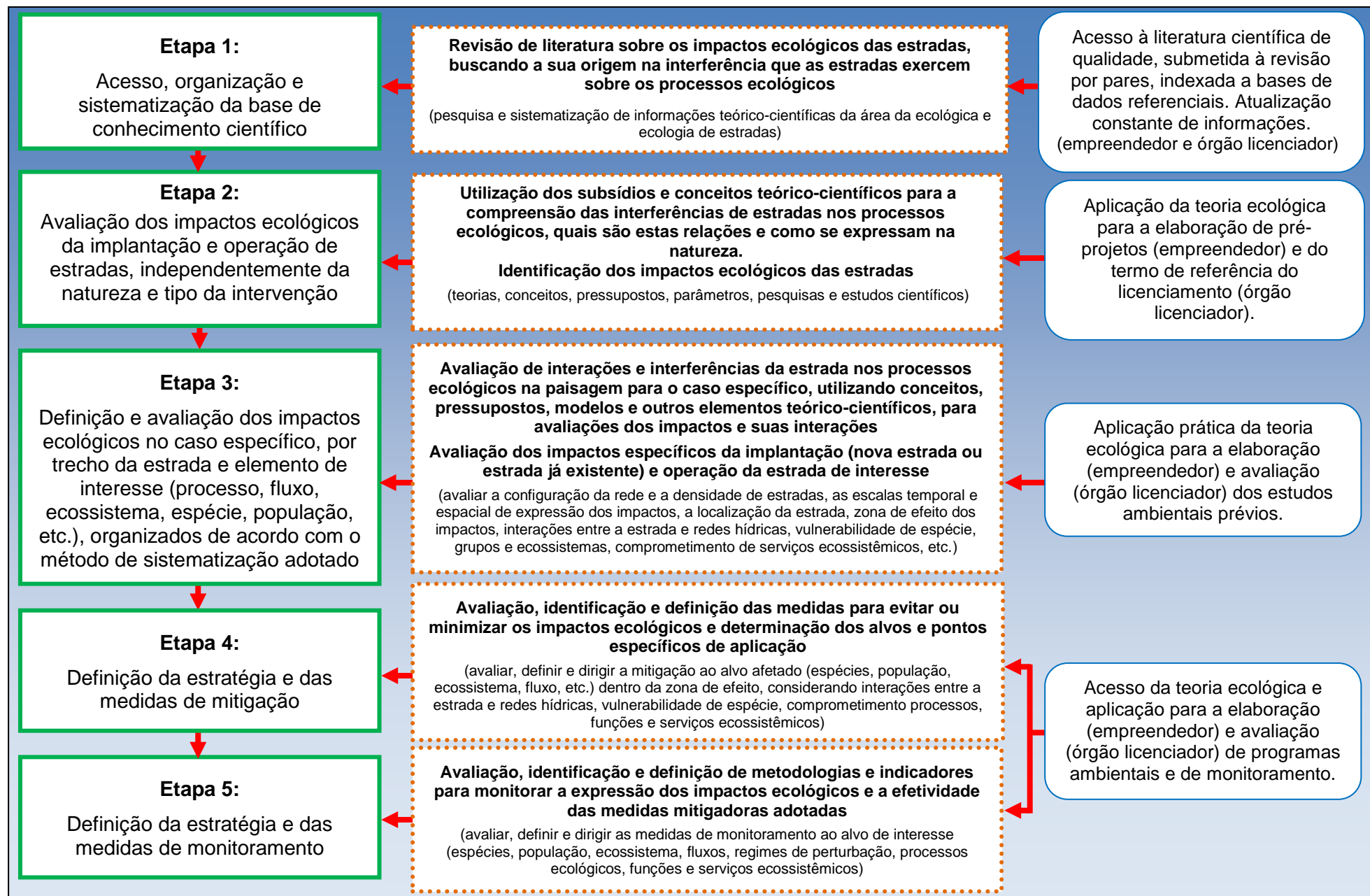


Figura 6 - A abordagem em cinco etapas para avaliar efeitos ecológicos de estradas, definir medidas de gestão que minimizem o seu impacto ecológico e orientem o planejamento da elaboração de projetos e o licenciamento ambiental de estradas, tendo como base a teoria ecológica. Adaptada de Robinson, Duinker e Beazley (2010).

A abordagem esquematizada na **Figura 6** pode ser aplicada sem que se exija qualquer alteração no cronograma ao licenciamento ambiental federal (**Figura 2**), instituído por normativas. O processo transcorreria da seguinte forma:

- O empreendedor cumpriria as etapas 1 e 2 e em seguida elaboraria o projeto conceitual do empreendimento, já observando conceitos da teoria ecológica, contribuindo com a sua expertise na área de transportes para propor uma intervenção ambientalmente amigável.
- O órgão licenciador, por sua parte, tendo também cumprido as etapas 1 e 2, de posse do projeto conceitual, elaboraria a termo de referência (TR), também fortemente lastreado em conceitos teóricos científicos, delineando com objetividade e clareza quais seriam o enfoque e conteúdo estudos necessários para identificação das interferências da estrada sobre os processos ecológicos e identificassem os impactos da estrada.
- A etapa 3 corresponderia à elaboração do EIA (ou qualquer outro tipo de estudo ambiental prévio exigido) pelo empreendedor, seguida da análise pelo órgão licenciador. Esse estudo também teria marcada aplicação de conceitos teórico-científicos, induzida pela aplicação dos mesmos parâmetros utilizados para a elaboração do TR, trazendo respostas sobre como a estrada, no caso específico, irá interagir com outros elementos da paisagem, a cada trecho da estrada, quais as formas de expressão destas interações e como e onde se verificarão, quais as medidas para evitar tais impactos e quais as soluções e alternativas que poderiam minimizar as interferências danosas das estradas sobre o meio ambiente. Uma vez aprovado o estudo ambiental, o órgão licenciador emitiria a licença prévia (LP), encerrando o cumprimento da etapa 3.
- Em seguida, seria elaborado e apresentado pelo empreendedor o projeto básico ambiental do empreendimento e o plano básico ambiental, o PBA, ambos fundamentados nos estudos ambientais prévios. O projeto básico incorporaria soluções e alternativas tecnológicas adequadas ao caso específico e o PBA detalharia as medidas de mitigação e monitoramento e os seus meios de aplicação, detalhando os programas ambientais indicados no EIA. Assim, também o projeto da estrada e o PBA refletiriam os princípios utilizados para a elaboração dos estudos ambientais, contemplariam opções

e ações consistentes, coerente com os impactos ambientais identificados no estudo ambiental aprovado e capazes de mitigar mais efetivamente os efeitos danosos da estrada. Avaliados e aprovados o projeto básico e o PBA, o órgão licenciador emitiria a licença de implantação (LI) do empreendimento. Isso corresponde à execução das etapas 4 e 5.

Neste trabalho, para sistematizar as informações acerca dos impactos das estradas, o que corresponderia ao cumprimento da etapa 1 da abordagem proposta (**Figura 6**) foi construído o diagrama mostrado na **figura 3**, que se assemelha aos modelos utilizados para sumarizar informações (Craver, 2006). Mas outras formas de sistematização podem ser empregadas, a escolha daquele que irá lidar com as informações e da adequação às finalidades pretendidas. O importante é dispor de algum meio de reunir e manter disponível, organizada e facilmente acessível a informação teórico-científica necessária para apoiar a execução das demais etapas propostas.

O suporte teórico-científico ao longo das etapas de planejamento do projeto e do licenciamento da intervenção pretendida permitiria a adequada compreensão e avaliação dos efeitos danosos das estradas, especialmente quanto ao papel destas estruturas na ruptura de processos e evitaria que impactos importantes não fossem negligenciados, que a estrada alcançasse efetivamente um patamar de adequabilidade ambiental aceitável e que o dispêndio de recursos investidos fosse racionalizado e justificado. Não seriam realizados estudos onerosos e levantamentos de pouca utilidade, reduzindo as investigações a questões específicas, essenciais, indispensáveis e de interesse real para a identificação e avaliação dos impactos, sua mitigação e monitoramento. Assim, não se vislumbra qualquer indício de a complexidade e os custos do processo de licenciamento sejam aumentados com a aplicação de teoria ecológica.

Os EIA seguem uma metodologia específica e largamente utilizada para a avaliação de impactos de empreendimentos e atividades, mas permitem um grau de subjetividade considerável. A matriz de classificação de impactos é um exemplo de flexibilidade no acolhimento de avaliações particulares, que dependem do avaliador, sua formação e experiência e das informações que acessou. Contudo, ainda que mantida a estrutura dos estudos, a aplicação de

conceitos da teoria ecológica pode certamente acrescentar aos EIA muito mais conteúdo, agregar algo de objetividade, adicionar subsídios práticos para análises e posicionamentos fundados em bases mais consistentes e lhes conferir muito mais utilidade prática.

Na **Figura 6**, são mencionados conceitos da teoria ecológica que podem ser úteis para o cumprimento da etapa 3 ali discriminada. Então, a seguir, alguns destes conceitos são apresentados e são explicitadas algumas formas de aplica-los. Também neste caso o licenciamento da BR-101 Sul será utilizado como exemplo para uma avaliação crítica da prática corrente para avaliações e definição de parâmetros empregados nos EIA.

5. AS POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO PRÁTICA DA TEORIA ECOLÓGICA PARA O LICENCIAMENTO DE ESTRADAS – ALGUNS EXEMPLOS – E A PRÁTICA ADOTADA NO CASO EM ANÁLISE

Neste item, são apresentados alguns conceitos teórico-científicos aplicáveis ao planejamento da construção de estradas e de projetos de ampliação e modernização de estradas existentes, como é o da duplicação da BR-101 Sul, quando há a possibilidade de alteração no traçado, construção de novas pontes e outras intervenções, que podem ser pensadas de forma a corrigir problemas anteriores e reduzir interações negativas destas estruturas com o ambiente que a cerca. Podem também servir para processos de renovação de licenças de operação, quando correções de problemas podem ser propostas. Servem ainda, em qualquer situação, para o planejamento de estratégias de mitigação para os efeitos danosos das estradas, a definição de medidas em si e a avaliação da efetividade daquelas já adotadas.

Também aqui, a apresentação dos conceitos teóricos e das suas possibilidades de aplicação é seguida de considerações acerca da prática adotada no caso do licenciamento da BR-101 Sul, evidenciando alguns aspectos nos quais este processo poderia ser aprimorado a partir da aplicação da teoria ecológica.

55

5.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO EMPREENDIMENTO

5.1.1. Elementos teórico-científicos aplicáveis:

A delimitação da área afetada diretamente por uma estrada depende, primeiro, da identificação acertada dos impactos associados ao empreendimento e da avaliação do alcance espacial dos seus efeitos e a cada trecho da estrada, sem que se esqueça de considerar a dimensão temporal da sua expressão. Alguns conceitos teórico-científicos que podem auxiliar nessa tarefa são apresentados na sequência.

5.1.1.1. A zona de efeito da estrada:

O conceito da zona de efeito das estradas, abordado em várias publicações científicas (FORMAN et al., 1997; FORMAN e ALEXANDER, 1998; FORMAN, 2000; FORMAN e DEBLINGER, 2000; FORMAN et al., 2003; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005; COFFIN, 2007; GOOSEM, 2007; EIGENBROD, HECNAR e FAHRIG, 2009; ROBINSON, DUINKER e BEAZLEY, 2010), é um dos elementos da teoria ecológica aplicável para a delimitação da área de influência das estradas.

A zona de efeito da estrada é definida como a zona adjacente às estradas onde um ou mais dos seus efeitos ecológicos diretos podem ser identificados (COFFIN, 2007). Projeta-se e se prolonga lateralmente em ambos os lados da estrada, assumindo geralmente uma forma curvilínea e complexa, com bordos irregulares e limites que variam ao longo das estradas, como resultado da assimetria no alcance dos efeitos ecológicos destas estruturas (FORMAN et al., 1997; FORMAN e DEBLINGER, 2000; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005; COFFIN, 2007).

A zona de efeito é delimitada a partir e para cada um dos elementos de interesse da análise, pois a distância de alcance de cada impacto varia na dependência: **a)** do processo ecológico de interesse; **b)** da espécie de interesse e sua sensibilidade às estradas; **c)** da localização e arranjo da estrada em relação à topografia, manchas de habitat presentes nas adjacências, direção dos ventos, tipo e características da estrada; e **d)** do tipo e grau da perturbação investigada (FORMAN et al., 1997; FORMAN e ALEXANDER, 1998; FORMAN et al., 2003; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005; ROBINSON, DUINKER e BEAZLEY, 2010)³. Segundo Forman et al. (1997), o alcance dos muitos efeitos ecológicos das estradas variam grandemente, ou seja, a zona de efeito para cada perturbação e a cada trecho de uma estrada pode variar de poucos metros a quilômetros e a distâncias diferentes a cada lado da estrada num mesmo trecho, de acordo com o impacto considerado e as características e elementos presentes no entorno.

³ Para o leitor que se interessar sobre experiências e metodologias para delimitação de zonas de efeito, podem ser consultados Eigenbrod et al. (2009), Forman (2000) e Forman e Deblinger (2000).

Por outro lado, alguns efeitos são mais ou menos contínuos ao longo das estradas e outros poucos podem se concentrar em alguns pontos, como a sedimentação nas áreas a jusante de pontes (FORMAN et al., 1997). As distâncias de alcance de alguns impactos das estradas estão esquematizadas na **Figura 7**.

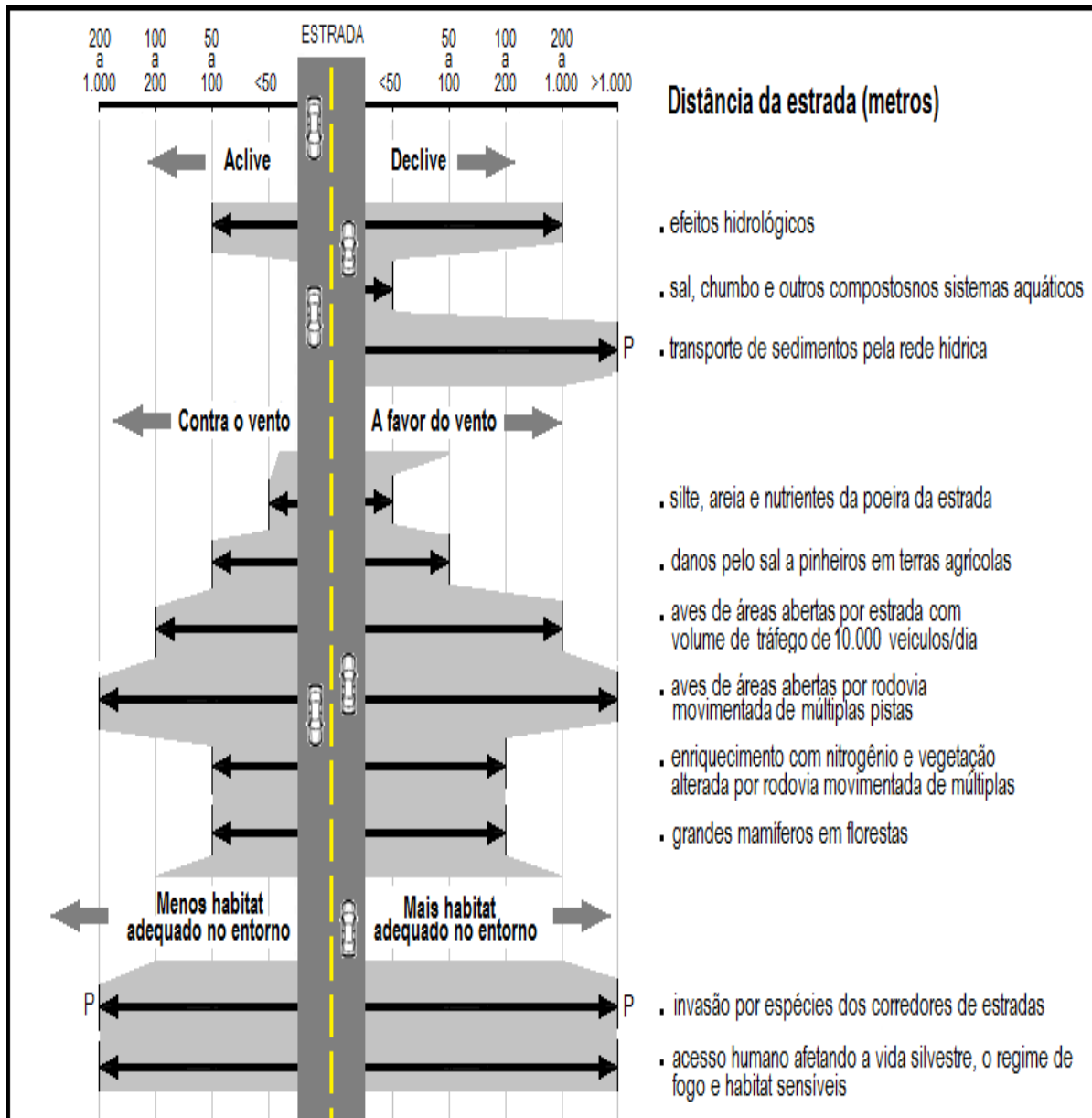


Figura7 – Zona de efeito das estradas e três mecanismos determinando sua largura e forma. Os efeitos listados à direita se baseiam em um ou mais estudos. Três mecanismos – gravidade (aclive e declive), ventos (a favor e contra) e quantidade de habitat adequado (mais ou menos), acréscimos barreiras física ou montanhas perto da estrada, produzem maior distância de alcance do efeito num dos lados da estrada do que no outro. Diante de escassas informações, em geral, as distâncias apresentadas nos exemplos são cerca da metade no lado esquerdo. Área sombreada = zona de efeito da estrada. Cada efeito, de forma característica, se estende para fora e ao longo de um trecho ou segmento da estrada. P= um efeito que se prolonga a partir de um ponto da estrada. Extraída de Forman et al. (2003).

5.1.1.2. O modelo conceitual de interações entre redes de estradas e redes hídricas:

Em relação aos sistemas hídricos, a delimitação da zona de efeito pode se basear no modelo conceitual de interações entre estradas e redes hídricas, proposto por Jones et al. (2000). Esse modelo oferece elementos adicionais para o estudo dos impactos das estradas especificamente sobre redes hídricas e a localização das áreas nas quais estes se expressam.

O modelo se baseia no pressuposto de que as estradas interagem com a rede hídrica, alterando suas dinâmicas e regime de perturbações naturais. Consequentemente, são alterados os processos de criação, destruição e modificação periódica e contínua das estruturas físicas dos cursos d'água (margens e planícies de inundação), afetando também a estrutura e as comunidades bióticas as quais estão intrinsecamente ligados (SWANSON et al., 1999; JONES et al., 2000). Essas dinâmicas naturais produzem manchas de perturbação que permeiam toda a paisagem, mas as alterações decorrentes das interações com as estradas reduzem a extensão de áreas não perturbadas, refúgios e fontes de elementos de colonização no período de recuperação pós-perturbação, diminuindo a resiliência dos corpos d'água (JONES et al., 2000).

O aumento das manchas de perturbação pode indicar as implicações ecológicas resultantes da mudança do regime de perturbações hidrológicas e geomorfológicas nas redes hídricas na presença de estradas. Dentre outras dinâmicas, os picos de fluxos e fluxos e materiais servem a este propósito, pois, de forma oposta aos processos e padrões naturais, os efeitos das estradas sobre os picos de fluxos e fluxos de materiais serão grandes a jusante tanto dos cruzamentos entre estradas e cursos d'água quanto de áreas com altas densidades destes cruzamentos (JONES et al. 2000).

A **Figura 8** esquematiza o padrão espacial da distribuição das manchas de perturbação criadas pelos picos de fluxos e fluxos de materiais a partir da interação entre a rede de cursos d'água e a rede de estradas.

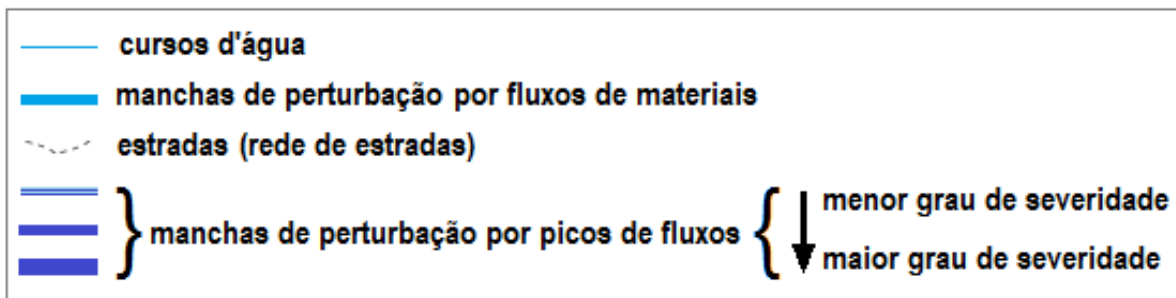
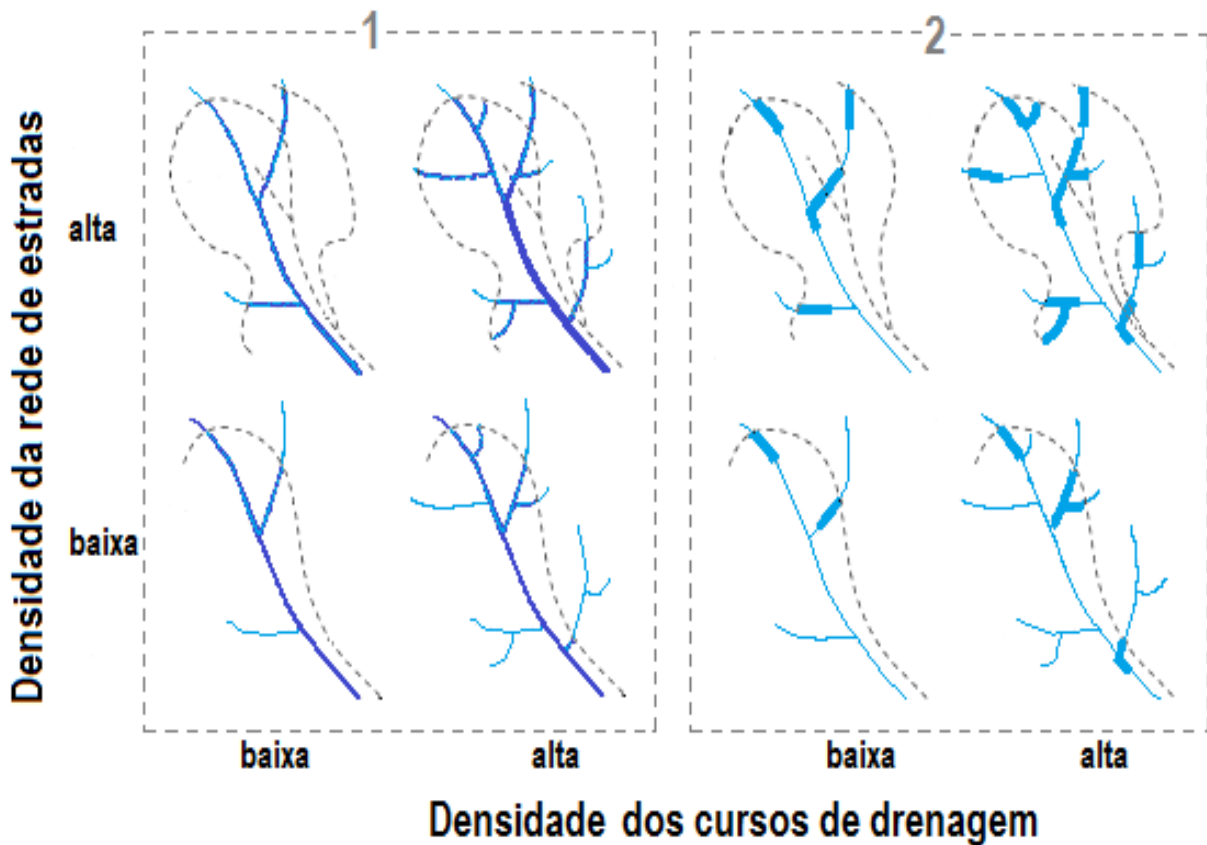


Figura 8 – Padrões espaciais da distribuição de manchas de perturbação em redes de cursos d'água associadas estradas.

1. Padrão espacial das manchas de perturbação dos picos de fluxos criados na rede de cursos d'água a jusante dos cruzamentos da rede de estradas com a rede de cursos d'água. Altas densidades de estradas e de cursos d'água aumentam o comprimento da rede de drenagem, com alto potencial de perturbações associadas às estradas. O diagrama ilustra a situação na qual todos os cruzamentos entre estradas e cursos d'água têm influência igual e aditiva sobre os picos de fluxo e todos os segmentos do curso d'água respondem igualmente. Numa paisagem real, o verdadeiro padrão espacial da suscetibilidade da rede de cursos d'água aos efeitos das estradas sobre os picos de fluxos é mais desigual.
2. Padrão espacial das manchas de perturbação causadas por fluxos de materiais, criadas numa rede de cursos d'água a jusante dos cruzamentos com a rede de estradas. Altas densidades de redes de estradas e de cursos d'água produzem altos percentuais da rede de cursos d'água afetados. As zonas de perturbações primárias por fluxos de materiais são enfatizadas, mas áreas a jusante destas manchas também podem ser perturbadas. O efeito dos cruzamentos de estradas e cursos d'água em paisagens reais é exagerado, porque nem todo cruzamento entre cursos d'água e estradas gera fluxos de materiais. Fluxos de materiais também podem ocorrer na ausência de estradas, criando manchas de perturbação adicionais que não são aqui mostrados.

Extraída de Jones et al. (2000) (com adaptações).

Baseando-se nessas dinâmicas de picos de fluxos e fluxos de materiais nas redes hídricas, Jones et al. (2000) apresentam uma perspectiva de análise, na escala da paisagem, das interações entre redes de estradas e redes hidrográficas.

O volume de sedimentos transportado pode ser difícil de estimar, dentre outras razões, porque podem ser removidos pelo fluxo d'água. Contudo, os rastros, mesmo que discretos, das perturbações em canais e áreas ribeirinhas podem ser precisamente estimados, em número e densidade por unidade de área. Portanto, podem ser mapeados, pois possuem distintos pontos de início, uma zona de impacto primário definida e relativamente clara e um ponto de término identificável. Rastros individuais podem alcançar dezenas de metros de largura e vários quilômetros de comprimento. A localização e a causa na origem de cada fluxo de materiais podem ser interpretadas em campo, permitindo, então, por si só, a análise do número, locais e tipos de manchas de perturbação criadas num curso d'água (JONES et al., 2000).

Assim, os autores propõem um esquema de amostragem em campo para detectar a magnitude de vários efeitos das estradas sobre a ecologia de cursos d'água e de áreas ribeirinhas, que envolveria: **a)** a estratificação da paisagem quanto à suscetibilidade da própria à rede de cursos d'água aos picos de fluxos e fluxos de materiais; **b)** a sobreposição da rede de estradas à rede de cursos d'água e criação de áreas com várias densidades de cruzamentos entre estradas e cursos d'água, enfatizando aqueles localizados em áreas médias de encostas; e **c)** a designação de segmentos de cursos d'água onde sejam esperados impactos alto e baixo, baseado no número de dos cruzamentos entre estrada e curso d'água, a montante, onde a amostragem de variáveis biológicas selecionadas possa ser conduzida. Para os autores, é crítico que estes locais sejam selecionados e interpretados com base nas suas posições em toda a rede de cursos d'água, a fim de estimar os efeitos do arranjo espacial das manchas de perturbação e de refúgio.

5.1.2. A delimitação da área de influência da BR-101 Sul:

Tanto o conceito da zona de efeito quanto o modelo conceitual das interações estrada-sistema hídrico podem ser aplicados, na prática, para a delimitação da área de influência direta de estradas submetidas ao licenciamento, seja a implantação de uma nova estrada, seja a ampliação ou modernização ou a regularização ambiental daquelas já existentes.

Contudo, não há qualquer indicativo de que estes elementos da teoria ecológica tenham sido utilizados para a delimitação da Área de Influência Direta (AID) da BR-101 Sul.

De fato, o EIA do empreendimento (DNER-IME, 1999) sequer menciona os parâmetros para a delimitação das AID do meio físico e biótico, que, aparentemente, tiveram seus limites definidos de forma arbitrária. Segundo o referido estudo, para o meio físico a AID corresponderia ao conjunto formado pelas pistas existentes, mais variantes, e faixas marginais com um mínimo de 1,0 km de seção para cada lado, somado às áreas ocupadas pelas diversas estruturas de apoio às obras, locais de obtenção de materiais de construção, bota-foras e estradas de serviço. A AID para o meio biótico compreenderia o conjunto delimitado como AID do meio físico, somado a trechos complementares, compostos por ambientes florestais, cursos hídricos ou áreas de preservação, atingidos pelo empreendimento.

Dessa forma, como os efeitos das estradas sobre o meio físico e a biota podem variar espacialmente e atingir áreas muito distantes destas estruturas (FORMAN e ALEXANDER, 1998; JONES et al., 2000; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005; TROMBULAK e FRISSELL, 2000; GOOSEM, 2007), as AID definidas no EIA podem não ser suficientes para abranger a área efetiva em que os efeitos da rodovia são sentidos, assim como podem também extrapolá-las, havendo alta probabilidade de que estejam delimitadas de forma insatisfatória. Isso obscurece a percepção das áreas de alcance dos impactos do empreendimento.

Aplicando teoria ecológica para a delimitação da área de influência de uma estrada, poderiam ser adotados critérios muito menos subjetivos do que aqueles correntemente empregados. A prática rotineira adotada em estudos

ambientais, como ocorreu no caso da BR-101 Sul, tem sido estabelecer um *buffer* com determinada largura ao longo das estradas, dimensionado a partir de uma medida que comumente venha sendo adotada em outros estudos ambientais realizados anteriormente. Ainda que existam incertezas, decorrentes das lacunas de estudo e conhecimento científico, os elementos produzidos pela ciência sobre os efeitos das estradas possuem muito mais consistência para a delimitação de áreas de influência do que a escolha aleatória da largura de um *buffer* qualquer, cujo critério para delimitação, de fato, não se conhece.

O conceito da zona de efeito e o modelo de interações estrada-sistema hídrico d'água são úteis para a delimitação da área de influência da estrada e isto tem um propósito prático importante: a delimitação das áreas para a aplicação de medidas de mitigação e monitoramento. Com a área de alcance dos impactos definida com um grau de precisão mais acurado, a aplicação dessas medidas se restringiriam espacialmente aos locais onde a expressão dos impactos é esperada. Além de racionalizar e conferir maior objetividade ao próprio processo de definição das medidas de mitigação e monitoramento a adotar, a aplicação desses elementos teórico-conceituais podem tornar tais medidas mais efetivas, porque permite que estas se dirijam a alvos adequadamente identificados, numa área de abrangência delimitada a partir de parâmetros conhecidos.

5.2. AVALIAÇÕES E DECISÕES QUANTO AO TRAÇADO DA ESTRADA

5.2.1. Elementos teórico-conceituais aplicáveis:

5.2.1.1. Aplicação da zona de efeito e do modelo de interações estrada-sistema hídrico:

Os conceitos da zona de efeito e o modelo conceitual de interações estrada-sistema hídrico também podem nortear decisões sobre a localização das estradas. Observados trecho a trecho, elementos relacionados à topografia, direção dos ventos e presença e quantidade de habitat às margens e nas

adjacências da estrada podem indicar traçados que minimizem a zona de efeito de vários impactos negativos. Da mesma forma, o planejamento do traçado, levando em consideração a rede de estradas em que se insere o empreendimento e suas interações com a rede hídrica, pode auxiliar na redução da quantidade de cruzamentos entre estas duas estruturas e reduzir os efeitos das interações entre ambas, ou auxiliar na escolha de alternativas tecnológicas e de engenharia que permitam uma menor interferência da estrada sobre as dinâmicas hidrológicas e geomorfológicas.

5.2.1.2. Outros conceitos relacionados à localização da estrada em relação à rede hídrica, manchas de habitat, topografia e espécies e habitat raros:

Forman et al. (1997) consideram a localização das estradas um importante elemento de análise, capaz de prever de forma integrada diversos efeitos ecológicos das estradas, devendo ser utilizado para o planejamento, visando a conservação. Esse tipo de análise leva em conta o arranjo das estradas em relação a habitat e espécies raras, à rede hídrica, a corredores e manchas de habitat e à topografia; e, conforme sintetizaram os autores através das ilustrações reproduzidas nas **Figuras 9, 10, 11 e 12**, que mostram os efeitos ecológicos das estradas em relação à sua localização.

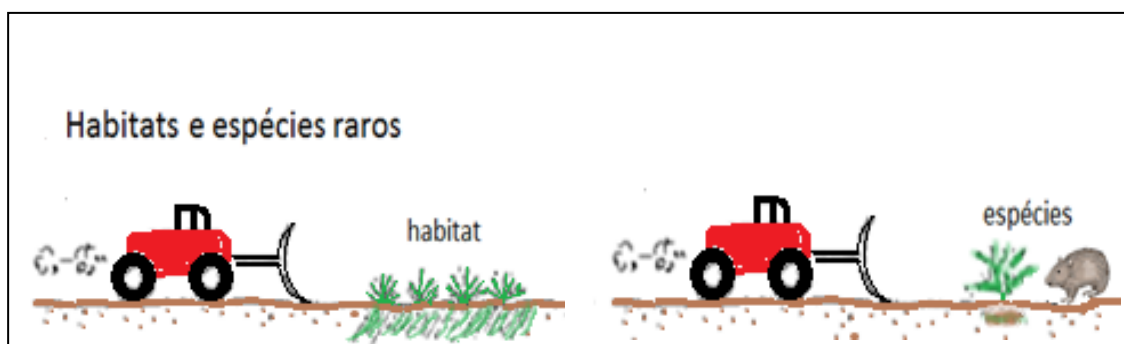


Figura 9 – Efeito ecológico da localização das estradas em relação aos habitat e espécies raras.

As estradas podem resultar no aumento da mortalidade da fauna, afetando particularmente as populações de espécies raras e ameaçadas.

Extraída de Forman et al. (1997).

Rede hídrica

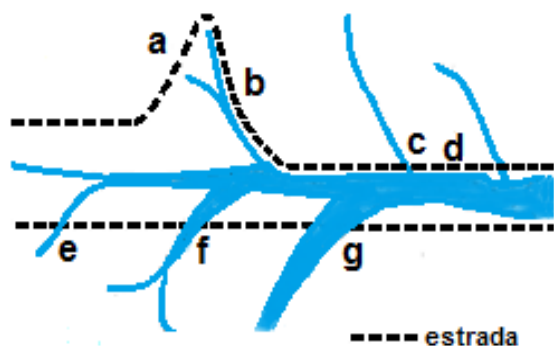


Figura 10 – Efeitos ecológicos da localização das estradas em relação à rede hídrica:

- Se a estrada contorna cursos d'água de primeira ordem, comumente causam maiores danos às bacias pequenas e frágeis ou à captação, por alterações na erosão, transporte de nutrientes e fluxos hidrológicos no sistema hídrico (**a**);
- Estradas adjacentes a cursos d'água de primeira ordem causam os mesmos efeitos antes mencionados e, se adjacentes a cursos d'água de segunda ordem, causam efeitos mais significativos de erosão, transporte e entrada de nutrientes, sedimentação, alterações na qualidade da água e nas populações de peixes (**b**);
- Uma ponte numa interseção comumente afeta as matas ciliares e espécies aquáticas, a movimentação de sedimentos e da água no ponto crítico da junção dos cursos d'água (**c**);
- Uma estrada próxima às margens de um grande rio ou de pequenos cursos d'água causa danos à vegetação das margens, aos processos e ao habitat das várzeas e ecossistemas aquáticos (**d**);
- Estradas com pontes que atravessam os cursos d'água (localizações **e**, **f** e **g**) ao invés de seguirem por áreas adjacentes ao longo destes, causam menos danos e o efeito, neste caso, é restrito à área a jusante da ponte.

Extraída de Forman et al. (1997).

Manchas de vegetação natural e corredores

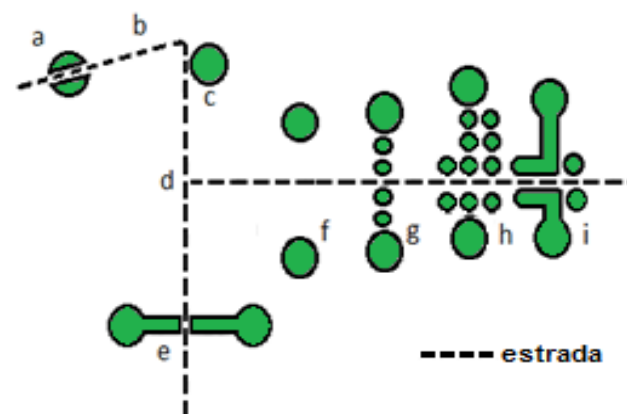


Figura 11 – Efeitos ecológicos da localização das estradas em relação à presença de manchas e corredores de habitat natural:

- Ao cortar um grande fragmento de vegetação natural, a estrada causa perda de habitat e degrada os remanescentes por perturbações e introdução de espécies exóticas (**a**);
- Se a estrada liga dois fragmentos, inibe fortemente o movimento de espécies de interior da floresta entre ambas as manchas (**b**);
- Distúrbios, em especial os ruídos, afetam aves e se estendem a alguma distância da estrada, degradando alguns fragmentos de habitat próximos (**c**);
- A localização mais apropriada para um entroncamento movimentado é longe o suficiente dos fragmentos remanescentes (**d**);
- Se a estrada corta um corredor de vegetação, a movimentação de organismos entre os fragmentos será reduzida (**e**);
- Onde corredores não existem, uma estrada localizada na maior distância entre os fragmentos, de forma a evitar distúrbios, pode evitar a degradação de habitat (**f**);
- Para a movimentação de espécies, a localização da estrada entre uma fileira de fragmentos (**g**) é considerada melhor que a localização **f** e pior que **e**;
- Se uma estrada cruza grandes fragmentos, os melhores padrões para a movimentação de espécies se verificam, hipoteticamente, quando existe um conjunto de pequenas manchas (**h**), ou alguma vegetação extra nos lados oposto da estrada, como um corredor (**i**).

Extraída de Forman et al. (1997).

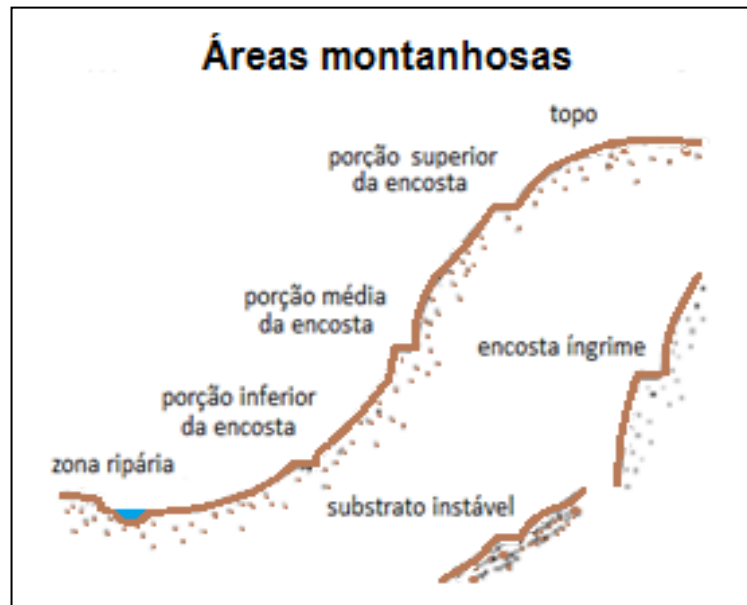


Figura 12 – Efeitos ecológicos da localização das estradas em relação à topografia:

- Estradas na crista de montanhas inibem o movimento de espécies pelos cumes, corredores naturais de movimentação, aumentam o acesso humano em áreas remotas e os distúrbios a isto associados (caça e fogo) e resultam em danos a espécies raras destas regiões de maior altitude.
- Em encostas altas, as estradas aparentemente têm poucos impactos ecológicos. Já em áreas medianas da encosta, os impactos são erosão, deslizamentos e escorregamentos, a depender da declividade e fluxos superficiais e subterrâneos de água. Nas partes baixas das encostas, as estradas afetam os fluxos d'água, quando águas subterrâneas mais frias podem se converter em águas superficiais mornas, por infiltração e escoamento nas áreas de corte da encosta. O aumento da erosão e do transporte de nutrientes degradam os cursos d'água e causam alterações nas populações de peixes.
- Por outro lado, estradas localizadas nas áreas mais baixas, ocupadas por matas ciliares, causam numerosas alterações, como a perda da vegetação das margens dos cursos d'água, diminuindo a disponibilidade de habitat para peixes, aumentando a temperatura da água, erosão, sedimentação, redução da biodiversidade das várzeas e inibição da movimentação das espécies pelos corredores aquáticos.
- Em áreas de encostas íngremes e naquelas cujo substrato é instável, as estradas causam mais problemas relacionados à erosão, sedimentação e transporte de nutrientes.
- Ecologicamente, as áreas mais altas das encostas são as mais apropriadas para a implantação de estradas e, em contrapartida, as encostas íngremes, áreas com substrato instável e matas ciliares são as piores locações para tais estruturas.

Extraída de Forman et al. (1997).

5.2.2. Decisões quanto ao traçado da BR-101 Sul:

Analisando as premissas para definições quanto ao traçado da rodovia em relação aos meios físico e biótico, o EIA da duplicação da BR-101 Sul (DNER-IME, 1999) indicava que deveriam ser consideradas as fontes de água potável, biota, relevo, rochas, solos, riquezas minerais, corpos d'água, miniclíma, uso da

terra, potencial cênico, atmosfera, conforto acústico, árvores centenárias e alternativas de preservação de unidades de conservação, bacias de acumulação.

Ao final, ao se posicionar sobre as alternativas locacionais para a duplicação rodovia, o referido estudo indicava apenas que, em conformidade com os estudos de pré-viabilidade, projeto básico e investigações ambientais realizadas, a localização mais viável para as novas pistas, do ponto de vista técnico, econômico, social e ambiental, era junto ao traçado da rodovia já existente, acrescido de algumas poucas variantes. Segundo o estudo, seria praxe, no contexto de macro alternativas locacionais, optar por projetos de duplicação de trechos rodoviários implantados em paralelo às rodovias existentes, aproveitando inclusive a faixa de domínio do leito existente.

Assim, o estudo se limitou a adotar soluções “de praxe” e deixou de avaliar efetivamente a localização da estrada em relação à rede hídrica, fragmentos remanescentes de vegetação nativa, topografia e presença de habitat e espécies raras, comprometendo a proposição de correções no traçado da estrada e a deixando de aproveitar a oportunidade da duplicação para a redução dos impactos da estrada.

5.3. AVALIAÇÕES INTEGRADAS SOBRE A DELIMITAÇÃO DE ÁREA DE INFLUÊNCIA, LOCALIZAÇÃO DA ESTRADA E EFEITOS NA PAISAGEM

A delimitação de áreas de influência indireta das estradas devem se valer de avaliações acerca dos efeitos indiretos das estradas e do seu alcance a distâncias intermediárias ou longas, como, por exemplo, mudanças na paisagem resultantes da fragmentação, alterações nos padrões de migração ou a propagação de organismos exóticos (FORMAN et al., 2003; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005; COFFIN, 2007).

Esse tipo de análise exige uma abordagem a partir de escalas mais amplas, temporal e espacialmente, nas quais tais impactos se manifestam e são percebidos. Deve também observar a configuração da estrada no espaço, avaliando os efeitos cumulativos das interações e da sinergia da estrada de

interesse com a malha viária na qual está inserida, com outras estruturas lineares e outros componentes presentes na paisagem de interesse (FORMAN e ALEXANDER, 1998; FORMAN et al., 2003). Para tal é necessário que tal análise parta da perspectiva unidimensional de um trecho da estrada para a escala bidimensional da rede de estradas, levando em consideração se os efeitos se expressam acima ou abaixo da superfície, se são difusos ou concentrados e se seguem o sentido dos fluxos naturais ou ignoram fluxos gravitacionais, já que as estradas tendem a contrariá-los (JONES et al., 2000; FORMAN et al., 2003).

5.3.1. Conceitos teórico-científicos aplicáveis:

5.3.1.1. Rede e densidade de estradas:

A teoria ecológica da rede de estradas considera as estradas como sistemas e que os efeitos dessas estruturas interagem entre si cumulativamente, cobrindo grandes áreas (FORMAN et al., 1997; FORMAN et al., 2003; COFFIN, 2007). Segundo essa teoria, os efeitos de uma rede de estradas sobre um ecossistema terrestre têm longo alcance e se estendem sobre grandes áreas da paisagem, podendo fragmentá-la, pela criação de manchas isoladas de habitat, e esgotá-la, mesmo em áreas moderadamente ocupadas por estradas (COFFIN, 2007). As redes de estradas podem interromper os fluxos ecológicos horizontais, mudar os padrões espaciais da paisagem e inibir espécies de interior de florestas (FORMAN e ALEXANDER, 1998). Porém, os efeitos das estradas sobre o habitat, espécies, solos e água é muito diverso e varia de acordo com a paisagem (FORMAN et al., 1997).

Segundo o autor, três tipos básicos de paisagem são afetados de forma distinta pelos efeitos ecológicos das estradas. Em áreas periurbanas, os efeitos estão relacionados à perda de habitat, fragmentação e ruídos, que reduzem a biodiversidade a distâncias consideráveis, afetando particularmente aves. Em paisagens abertas os efeitos das estradas estão associados aos seguintes aspectos: **a)** as estradas existentes interrompem o movimento das espécies, especialmente em corredores de biodiversidade; **b)** novas estradas impedem o desenvolvimento ou provocam a perda de manchas-chave de habitat, de

espécies e de fluxos naturais; **c)** a mortalidade associada a estradas ameaça as poucas populações de espécies raras; e **d)** são introduzidas espécies exóticas e pesticidas na paisagem. Já em paisagens florestadas, os efeitos mais evidentes da rede de estradas decorrem: **a)** da redução da qualidade do habitat e perda de biodiversidade, pelas perturbações antrópicas causada pela penetração das estradas em áreas remotas; **b)** da interrupção de fluxos naturais (águas subterrâneas e fogo); **c)** de picos de fluxo e grandes inundações, em decorrência de aportes de água através de drenos e galerias da estrada, causando danos e alterações nas várzeas; e **d)** da aceleração de processos erosivos, sedimentação, poluição e perda de espécies de peixes pela construção e manutenção de estradas.

Assim, da mesma forma que variam os efeitos ecológicos sobre esses três tipos básicos de paisagem, também diferem as soluções adequadas para cada um destes casos (FORMAN et al., 1997). Contudo, como as estradas seccionam muitos ecossistemas e áreas ocupadas por distintos tipos de uso da terra, alterando os fluxos, o funcionamento e as dinâmicas do ambiente na paisagem, os efeitos ecológicos destas estruturas só podem ser, portanto, compreendidos nesta escala (FORMAN et al., 1997; FORMAN e DEBLINGER, 2000).

Alguns efeitos importantes para paisagens relacionados diretamente com as estradas incluem a perda de habitat, através das transformações na cobertura do solo (para a implantação da estrada e para novos usos da terra no entorno induzidos pela criação desta nova estrutura), mudanças na quantidade e qualidade do habitat, fragmentação e perda de conectividade. Reunidos, esses fatores expressam os efeitos sinérgicos de estradas e redes rodoviárias sobre os ecossistemas em escalas mais amplas (COFFIN, 2007).

Considerando esses aspectos, a densidade de estradas é um índice, expresso em km/km^2 , utilizado para mensurar os efeitos ecológicos das estradas particularmente relacionados à movimentação da fauna, fragmentação de populações, intensificação do acesso humano, hidrologia e padrões de fogo (FORMAN et al., 1997).

Segundo os autores, os principais padrões associados à densidade de estradas são: **a)** redução de populações naturais pela perda de habitat,

decorrente da ocupação de áreas pelas estradas e pela evasão de animais de áreas adjacentes; **b)** redução de populações de espécies raras, em decorrência da mortalidade por atropelamentos; **c)** fragmentação de populações em subpopulações, mais sujeitas a flutuações demográficas, *inbreeding*, perda de variação genética e extinções locais; **d)** aumento da caça, distúrbios e perturbações à fauna e danos aos ecossistemas, em decorrência da facilitação do acesso humano; **e)** alterações nos padrões naturais de fluxos, pela drenagem mal dimensionada em áreas declivosas e úmidas, resultando em represamento da água a montante da estrada e redução da disponibilidade de água na porção da encosta a jusante, ou em baixos níveis de água em ambas as áreas; **f)** aumento dos fluxos d'água, quando a rede de drenagem se conecta ao sistema de drenagem natural, podendo causar inundações, danos e alterações nas várzeas, com grandes erosões e sedimentação; e **g)** aumento da frequência de incêndios, decorrentes da facilitação do acesso de pessoas.

Para Forman e Alexander (1998), a densidade de estradas pode representar um índice geral de adequação do habitat, podendo indicar a sensibilidade de diferentes espécies às estradas, com impactos hidrológicos evidentes em áreas com densidades acima de 2 a 3 km/km² (FORMAN et al., 1997).

A quantidade de grandes áreas com 100 km² ou mais não fragmentadas por estradas decresceu de 22 para 14% do território de uma região da Alemanha entre 1977 e 1998, e isto deve estar acontecendo continuamente no restante do planeta (ROEDENBECK et al., 2007). No Brasil, várias estradas que compõem a malha viária na região norte, por exemplo, promovem acesso a áreas remotas da floresta amazônica, onde assumem papel relevante dentre os fatores associados ao desmatamento, com efeitos severos sobre os componentes ecossistêmicos e a biodiversidade (COFFIN, 2007; GOOSEM; 2007). De fato, a densidade de estradas não é uma questão que deva ser desconsiderada no Brasil. A **Tabela 7** indica que, embora a densidade de estradas no País seja relativamente baixa, menos de 0,2 km/km², em alguns estados se aproximam e já ultrapassam 0,6 km/km², mencionados por Forman et al. (1997) como o limiar máximo para a uma paisagem funcional abrigar populações viáveis de alguns grandes mamíferos, dentre elas, por exemplo, o *Puma concolor*.

Tabela 7 - Rede do Sistema Nacional de Viação*, existente e planejada, e densidades de estradas no Brasil, por Unidade da Federação e região.

Região	Unidade da Federação	Área (km ²)	Malha viária (km)				Densidade de estradas (km/km ²)		
			Planejada	Existente		Total planejada + existente	Estradas existentes	Estradas existentes + planejadas	
				Não pavimentada	Pavimentada				Total
Norte	Rondônia	237.590,55	4.159,10	20.279,50	2.708,70	22.988,20	27.147,30	0,0968	0,1143
	Acre	164.123,04	400,10	7.288,70	1.487,70	8.776,40	9.176,50	0,0535	0,0559
	Amazonas	1.559.159,15	8.196,20	4.007,00	2.165,80	6.172,80	14.369,00	0,0040	0,0092
	Roraima	224.300,51	759,30	6.114,40	1.468,60	7.583,00	8.342,30	0,0338	0,0372
	Pará	1.247.954,67	6.421,10	30.472,30	5.539,00	36.011,30	42.432,40	0,0289	0,0340
	Amapá	142.828,52	4.937,40	1.823,50	473,50	2.297,00	7.234,40	0,0161	0,0507
	Tocantins	277.720,52	7.063,20	24.239,60	6.637,60	30.877,20	37.940,40	0,1112	0,1366
	Sub-Total	3.853.676,95	31.936,40	94.225,00	20.480,90	114.705,90	146.642,30	0,0298	0,0381
Nordeste	Maranhão	331.937,45	2.643,10	48.239,40	6.882,10	55.121,50	57.764,60	0,1661	0,1740
	Piauí	251.577,74	3.425,70	50.498,60	6.557,70	57.056,30	60.482,00	0,2268	0,2404
	Ceará	148.920,47	1.667,30	43.254,70	8.216,80	51.471,50	53.138,80	0,3456	0,3568
	Rio Grande do Norte	52.811,05	440,90	22.864,20	4.369,00	27.233,20	27.674,10	0,5157	0,5240
	Paraíba	56.469,78	77,40	31.316,20	3.518,10	34.834,30	34.911,70	0,6169	0,6182
	Pernambuco	98.148,32	360,00	36.931,80	6.827,50	43.759,30	44.119,30	0,4458	0,4495
	Alagoas	27.778,51	1.838,00	10.747,00	2.450,90	13.197,90	15.035,90	0,4751	0,5413
	Sergipe	21.915,12	396,70	3.229,10	2.160,70	5.389,80	5.786,50	0,2459	0,2640
	Bahia	564.733,18	12.295,70	113.631,70	13.715,10	127.346,80	139.642,50	0,2255	0,2473
	Sub-Total	1.554.291,61	23.144,80	360.712,70	54.697,90	415.410,60	438.555,40	0,2673	0,2822
Sudeste	Minas Gerais	586.522,12	3.293,60	246.546,10	22.993,00	269.539,10	272.832,70	0,4596	0,4652
	Espírito Santo	46.095,58	671,30	27.142,10	3.478,70	30.620,80	31.292,10	0,6643	0,6789
	Rio de Janeiro	43.780,17	2.450,80	15.505,70	6.918,20	22.423,90	24.874,70	0,5122	0,5682
	São Paulo	248.222,80	1.124,80	165.036,00	29.244,50	194.280,50	195.405,30	0,7827	0,7872
	Sub-Total	924.620,68	7.540,50	454.229,90	62.634,40	516.864,30	524.404,80	0,5590	0,5672
Sul	Paraná	199.307,92	1.201,00	98.172,90	19.343,30	117.516,20	118.717,20	0,5896	0,5956
	Santa Catarina	95.736,17	44.916,00	54.759,70	6.995,80	61.755,50	106.671,50	0,6451	1,1142
	Rio Grande do Sul**	281.730,22	3.661,80	140.586,10	10.979,60	151.565,70	155.227,50	0,5380	0,5510
	Sub-Total	576.774,31	49.778,80	293.518,70	37.318,70	330.837,40	380.616,20	0,5736	0,6599
Centro-Oeste	Mato Grosso	903.366,19	6.406,90	26.645,20	7.345,50	33.990,70	40.397,60	0,0376	0,0447
	Mato Grosso do Sul	357.145,53	2.938,00	54.201,30	7.974,30	62.175,60	65.113,60	0,1741	0,1823
	Goiás	340.111,78	7.937,10	74.984,20	11.108,20	86.092,40	94.029,50	0,2531	0,2765
	Distrito Federal	5.780,00	83,00	543,60	829,90	1.373,50	1.456,50	0,2376	0,2520
	Sub-Total	1.606.403,51	17.365,00	156.374,30	27.257,90	183.632,20	200.997,20	0,1143	0,1251
BRASIL		8.515.767,05	129.765,50	1.359.060,60	202.389,80	1.561.450,40	1.691.215,90	0,1834	0,1986

*Sistema Nacional de Viação – SNV: é constituído pela infra-estrutura viária e pela estrutura operacional dos diferentes meios de transporte de pessoas e bens, sob jurisdição da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios (Brasil, 2001).

** Rio Grande do Sul: Inclusive 10.152,451 km² e 2.811,552 km² referentes às Lagoas dos Patos e Mirim, respectivamente, incorporadas à área do Estado segundo a Constituição Estadual de 1988, não constituindo área municipal (IBGE, 2013).

Fontes: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2013c).

Assim, a densidades de estradas não deve ser desconsiderada nas avaliações relativas a projetos de ampliação da malha viária e de estradas individualmente.

Porem, considerando que a escala de avaliação dos possíveis efeitos cumulativos da rede de estradas é a paisagem, é necessário atentar que, mesmo dentro deste parâmetro, cabe dimensionar de forma adequada a escala espacial a empregar. Com base nos dados da **Tabela 7**, apenas a título de exemplificação da importância de observar este aspecto, foram elaboradas as **Figuras 13 e 14**, cujos gráficos mostram as densidades da rede de estradas das regiões políticas e estados brasileiros, respectivamente.

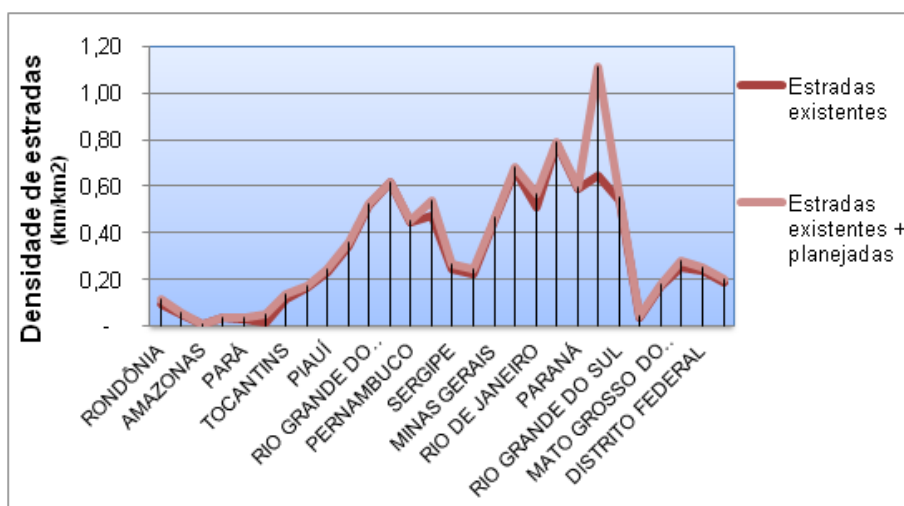


Figura 13 – Densidades de estradas no Brasil, por Unidade da Federação.

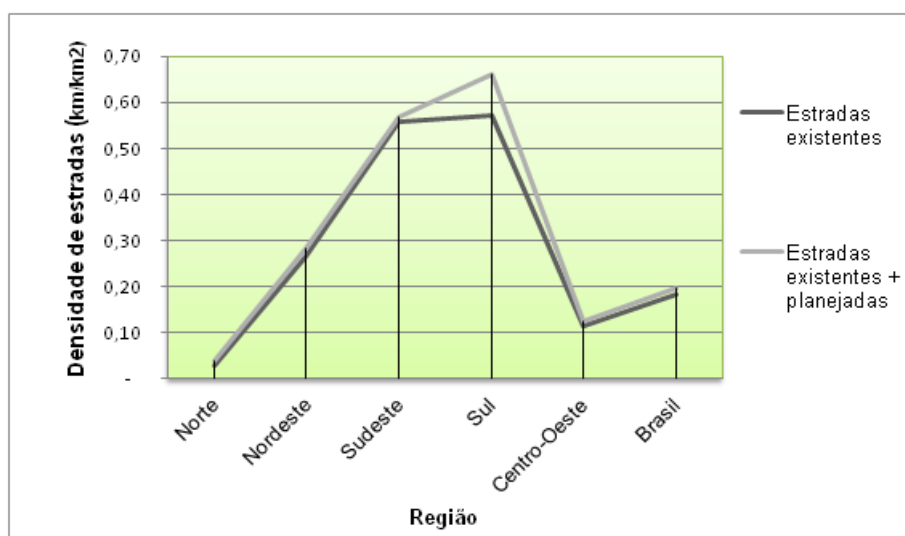


Figura 14 – Densidades de estradas no Brasil, por região política.

Provavelmente, ambas as escalas utilizadas para a confecção dos gráficos mostrados nas **Figuras 13 e 14** ultrapassam limites espaciais apropriados para avaliações dos efeitos das densidades de estradas, ou seja, regiões territoriais tão grandes como estados e regiões não corresponderiam à dimensão da paisagem adequada a este tipo de análise. As figuras servem apenas para demonstrar como a utilização de escalas excessivamente amplas pode esconder a existência de áreas cujas densidades de estradas são muito maiores do que aquela percebida em paisagens numa escalas espacial menor. O contrário também deve ser verdade, pois eleger escalas espaciais excessivamente restritas, pode não permitir mensurar e avaliar corretamente os efeitos relacionados à densidade de estradas, por excluir componentes da rede de estrada que interagem com a área de interesse.

Além da interação e sinergia dos efeitos dentro da própria rede, as estradas podem ainda interagir particularmente com outras estruturas lineares naturais ou artificiais existentes na paisagem, como já comentado em relação às redes de cursos d'água (FORMAN e ALEXANDER, 1998; SWANSON et al., 1999; JONES et al., 2000; FORMAN et al., 2003; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005), linhas de transmissão de energia elétrica, ferrovias e oleodutos (GOOSEM, 2007). Essas estruturas, por se constituírem também de clareiras lineares, podem, de forma semelhante às estradas, alterar padrões e fluxos na paisagem, interagir e somar seus efeitos aos das estradas, como ocorre, por exemplo, na criação de habitat de borda, mudanças em padrões de movimentação de animais ou aumento da evasão de animais ou das taxas de mortalidade por atropelamentos em pontos de interceptação entre estas redes (FORMAN e ALEXANDER, 1998; FORMAN et al., 2003; JAEGER et al., 2005; GOOSEM, 2007). Então, interações com esses outros tipos de estruturas lineares da paisagem também devem ser observadas para avaliar os efeitos das estradas e subsidiar decisões quanto à sua localização e traçado e sua área de influência.

Portanto, é importante avaliar como as densidades e configuração da rede de estradas afeta relações funcionais inter e intraecossistemas na escala da paisagem e, a partir disso produzir informações úteis para avaliações ambientais e o planejamento dos transportes (ROEDENBECK et al., 2007).

5.3.1.2. Medida de acessibilidade do habitat:

Levando em consideração o arranjo espacial das estradas em relação a remanescentes de vegetação nativa, Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2008) propuseram a medida de acessibilidade do habitat, correlacionando os efeitos combinados das estradas e a quantidade de habitat na paisagem.

Essa medida é representada pela quantidade de habitat que pode ser alcançado a partir de uma mancha de habitat focal sem que seja necessário atravessar uma estrada.

Como explicam os autores, usualmente o efeito da perda de habitat é mensurado através da correlação entre a quantidade de habitat na paisagem e a distribuição e abundância de espécies. Já os efeitos das estradas são mensurados geralmente através da correlação da densidade de estradas e/ou volume de tráfego na paisagem, ou ainda pela relação entre a distância para a estrada mais próxima e a distribuição ou abundância de espécies. Entretanto, ponderam os autores, considerando perda de habitat e estradas como preditores separados, não se leva em conta a contribuição da acessibilidade do habitat não seccionado por estradas para as populações. Além disso, provavelmente o efeito negativo de uma estrada sobre uma população é muito maior se esta estrutura impõe a obrigatoriedade de travessia para organismos que busquem acessar outro fragmento de habitat, do que daquela estrada que não restringe acesso ao habitat. Assim, os autores consideram que mensurar perda de habitat e efeitos das estradas sobre as populações silvestres separadamente pode levar à subestimação dos efeitos de ambos os estressores sobre as populações.

Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2008) sugerem essa nova variável da paisagem – a acessibilidade do habitat – para mensurar os efeitos combinados da perda de habitat e os efeitos das estradas, levando em consideração a localização do habitat em relação às estradas (**Figura 15**), quando o tipo de estrada (ou outra barreira linear da paisagem) usado para delinear acessibilidade do habitat será sempre espécie-dependente.

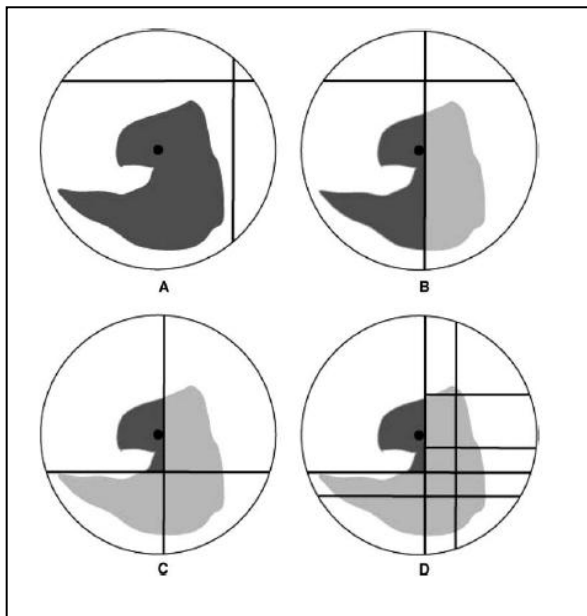


Figura 15 – Paisagem hipotética ilustrando acessibilidade do habitat. Em **A**, todo o habitat (área em cinza escuro) é acessível para algumas espécies a partir de um ponto focal (pequeno círculo negro). Em **B**, **C** e **D**, o habitat acessível (área em cinza escuro) é menor do que o total do habitat (áreas em cinza escuro + áreas em cinza claro). A distância da estrada mais próxima é a mesma nas paisagens **B**, **C** e **D**, mas a acessibilidade ao habitat é menor nas paisagens **C** e **D**. A densidade de estradas é mais alta na paisagem **D** do que na paisagem **C**, mas a acessibilidade ao habitat permanece a mesma em ambas as paisagens.
 Extraída de Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2008).

Assim, para Eigenbrod, Hecnar e Fahrig (2008), utilizar a medida de acessibilidade do habitat pode de ser o melhor meio de prever os efeitos da perda de habitat associado às estradas para qualquer espécie e para quais espécies as estradas de interesse representam uma grande barreira ao movimento.

Porém, ainda segundo os mesmos autores, há variáveis que devem ser consideradas para a utilização da medida de acessibilidade do habitat, como:

- As diferentes respostas das espécie às estradas:
 - para algumas espécies a estrada pode ser uma barreira totalmente intransponíveis, ou seja, uma única estrada estará delineando o habitat acessível, cabendo, neste caso, utilizar tanto a medida de acessibilidade do habitat quanto a distância para a estrada mais próxima, enquanto que a densidade de estradas será uma medida pobre dos efeitos de barreira;
 - indivíduos de outras espécies ou táxon tentam atravessar a maioria de todos os tipos de estradas, quando apenas estradas com altos níveis de tráfego devem ser usadas para delinear acessibilidade de habitat, uma vez que pequenas estradas terão apenas um fraco efeito de barreira;

- A possibilidade de uma fração do habitat ser suficiente para dar suporte às necessidades das espécies, quando não há problema se as estradas frustram ou não o uso do habitat no seu lado oposto.
- A relação habitat acessível versus habitat total, que depende da correlação entre habitat não acessível e habitat acessível, pois quando ambos são positivamente correlacionados se poderá incluir habitat não acessível na análise (por exemplo, usando habitat total como preditor) e é provável que a melhor medida dos efeitos cumulativos das estradas na paisagem seja a densidade de estradas.
- A localização do habitat em relação à localização das principais barreiras, como estradas, pois desconsiderar este aspecto pode levar à subestimação dos efeitos da perda de habitat nas proximidades de estradas e levar a falsas conclusões de que o habitat perto de estradas é de pouco valor para a conservação.

5.3.2. Avaliações do licenciamento da BR-101 Sul para a delimitação da área de influência do empreendimento, localização da estrada e seus efeitos na paisagem:

O EIA da duplicação da BR-101 Sul (DNER-IME, 1999) aparentemente não se valeu de qualquer um dos conceitos teóricos mencionados como elemento de análise. Na verdade, o estudo não utiliza a teoria da rede de estradas, nem o índice de densidade de estradas, nem qualquer outro parâmetro ecológico para analisar e prever os impactos cumulativos do empreendimento resultantes das interações na rede de estradas que compõem a malha viária existente na região.

Ao analisar as alternativas locais para a duplicação da BR-101 e mencionar a prática corrente em obras de duplicação de rodovias de decidir pela implantação da nova pista junto àquela já existente, o estudo menciona que esta escolha é comum em países em desenvolvimento, porque, no geral ainda possuem malha viária reduzida (DNER-IME, 1999). Contudo, o estudo se contradiz, ao afirmar em outro ponto que na região do empreendimento se encontrava instalada uma malha viária relativamente densa, composta pela

própria BR-101 Sul e um conjunto de troncos de rodovias federais, estaduais e municipais, que fazem as ligações viárias da região.

E, de fato as malhas viárias de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul são densas. Santa Catarina, com área de 95.346,181 km² e uma malha viária de 62.917 km, e o Rio Grande do Sul, com seus 281.733,99 km² de território e malha viária que soma 153.518 km (IBGE, 2013; DNIT, 2013c), têm densidades de estradas, respectivamente, de 0,65 e 0,54 km/km². Sem contar que há a perspectiva destes dois Estados alcançarem densidades de estradas de 1,11 e 0,55 km/km², respectivamente, se cumpridas as metas do Plano Nacional de Viação para o desenvolvimento da malha viária de ambos (DNIT, 2013c).

Considerando a informação de que densidades de estradas acima de 0,6 km/km² já acarretariam em declínio de populações de grandes vertebrados (FORMAN et al., 1997), as densidades de estradas de Santa Catarina já indicariam que estas estruturas já representam risco à persistência de populações animais, enquanto que no Rio Grande do Sul a densidade de estradas já se aproxima do ponto crítico para este parâmetro. Mesmo assim, esses elementos não foram considerados nas análises realizadas no âmbito do EIA.

Quanto à delimitação da área de influência indireta do empreendimento para os meios físico e biótico, o EIA optou por considerá-la arbitrariamente como aquela correspondente a uma faixa contínua ao longo da rodovia, tendo como limite leste o litoral dos Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, entre Florianópolis e Osório, e como limite oeste uma linha paralela à rodovia, distando aproximadamente 10 km desta (DNER-IME, 1999).

Não foram apresentados no estudo quaisquer parâmetros claros e objetivos para a delimitação da área de influência indireta da rodovia, nem mencionados aspectos relacionados à sinergia da BR-101 com a rede de estradas na qual está inserida, nem com outras estruturas lineares presentes na paisagem, nem com os demais elementos e a sua configuração no mosaico da paisagem. Tais avaliações poderiam permitir que se compreendesse qual a contribuição da estrada para os processos de fragmentação de habitat e o quanto o alcance dos seus efeitos estaria associado à estrada.

Da mesma forma, com relação à perda de habitat associada à BR-101 Sul, o estudo se limitou a quantificar as áreas cobertas por vegetação nativa que sofreria supressão para a construção da nova pista da rodovia e restringiu o efeito negativo da estrada a apenas estas intervenções (DNER-IME, 1999), deixando de utilizar a medida de acessibilidade do habitat para aferir o impacto da estrada sobre populações de organismo silvestres nativos e o alcance da expressão deste efeito negativo da rodovia.

Assim, a abordagem adotada no licenciamento não permitiu que a área afetada pelos impactos indiretos do empreendimento fosse apropriadamente delimitada, levando em conta os efeitos sinérgicos da estrada em relação ao contexto da paisagem do entorno, com prejuízo à espacialização corretas dos impactos da BR-101 Sul, comprometendo o processo de definição e a eficácia de medidas de mitigação possíveis. Isso implicou também e mais uma vez em prejuízos às análises sobre possibilidades de adequação e correção do projeto original da via, oferecida pela oportunidade da sua duplicação, e a busca por soluções para os impactos preexistentes e futuros.

Contudo, cabe considerar que a opção pelo adensamento do tráfego em algumas estradas, como no caso de duplicações de rodovias, pode não ser uma escolha inadequada.

Alguns autores defendem que a visão mais ampla dos efeitos ecológicos das estradas sugere que os seus danos provavelmente não serão inteiramente mitigados ou remediados e que essa constatação reforça a necessidade de manter áreas livres de estradas e estradas movimentadas longe de áreas conservadas e de unidades de conservação (TROMBULAK e FRISSEL, 2000; FORMAN, 2000; FORMAN e DEBLINGER, 2000). Assim, a acumulação de tráfego através da localização de estradas em estreita proximidade umas com as outras que pode ser benéfico para a persistência de populações, se as áreas centrais de habitat não fragmentado forem poupadas da construção de novas estradas (COFFIN, 2007).

Nesse sentido, também a acumulação do tráfego em rodovias existentes, através inclusive de ampliações, como no caso da duplicação da BR-101 Sul, pode minimizar a conversão do tráfego de leve para médio em estradas secundárias, o que pode ser considerado menos impactante do que a abertura

de novas estradas ou a distribuição do volume de tráfego em várias estradas na rede na qual está inserida (FORMAN, 1999).

Entretanto, tais decisões dependem de avaliações consistentes sobre, por exemplo, os efeitos do aumento da largura, volume de tráfego, velocidade dos veículos, sobre a configuração da rede de estradas, suas relações e interações com os demais elementos da paisagem e que tais avaliações suscitem a definição da mitigação adequada, o que não se viu como objeto das avaliações contidas nos estudos ambientais e demais informações disponíveis sobre o licenciamento da BR-101 Sul.

6. COMENTÁRIOS ADICIONAIS SOBRE O LICENCIAMENTO DA BR-101 SUL

O processo de licenciamento da BR-101 Sul transcorre há 15 anos. É fato que o EIA do empreendimento foi elaborado em 1999 e o PBA dois anos depois (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001). São, portanto, documentos antigos, anteriores a parte das publicações utilizadas como referência para este trabalho.

Contudo, antes que isso possa suscitar inferências que procurem explicar as lacunas decorrentes do distanciamento do processo de conceitos teórico-científicos, cabe destacar que à época em que foi instaurado, os principais fundamentos conceituais da ecologia de estradas já estavam consolidados e havia informação disponível sobre o assunto. Além disso, os processos de licenciamento de estradas geralmente são longos e, na prática, nunca se extinguem, pois são periodicamente submetidos a procedimentos para a renovação das licenças ambientais de operação concedidas, podendo passar por atualizações e ajustes a qualquer tempo ou nestas oportunidades.

Portanto, o processo de licenciamento da BR-101 Sul poderia ter sido alvo de revisões e, se estas aplicassem conceitos da ecologia, as lacunas que possui poderiam ter sido preenchidas. Mas, pelo que permite inferir o exame da documentação disponibilizada, embora tenham sido solicitadas eventualmente complementações aos estudos, a abordagem inicial, dada pelos termos de referência do órgão licenciador e pelo EIA, aparentemente norteia o licenciamento da BR-101 Sul até o momento.

Mesmo com todas as lacunas, o licenciamento da duplicação da BR-101 Sul gerou até final de 2012 um grande volume de documentos (DNER-IME, 1999; DNER-IME, 2001; IBAMA, 2013a), demonstrando o quão trabalhoso tem sido este processo, a demanda, esforço e mobilização de recursos exigidos do empreendedor e do IBAMA para conduzi-lo.

No entanto, nem assim o licenciamento conseguiu reconhecer as dimensões na qual as estradas atuam nocivamente e os reais impactos ecológicos destas estruturas, o que torna o licenciamento pouco efetivo no cumprimento dos seus objetivos e reduz seus estudos e inúmeras e onerosas medidas de mitigação e

monitoramento a um conjunto de ações pouco úteis para a conservação da natureza.

Por sua vez, o DNIT, órgão responsável pela execução da obra e pelo acompanhamento do licenciamento da duplicação da BR-10 Sul, até a criação da Empresa de Planejamento e Logística – EPL em 2012 (EPL, 2013), embora demonstrasse empenho na execução da gestão ambiental do empreendimento, deixava transparecer que a dimensão dada a esta tarefa se restringia à obtenção de licenças e ao cumprimento das exigências do licenciamento dentro dos prazos estabelecidos, não demonstrando uma postura inclinada e pró-ativa na busca e concepção de projetos de estradas ambientalmente mais adequadas (DNIT, 2012, DNIT 2013^a, DNIT, 2013b).

Porém, este aparentemente não é um problema exclusivo do caso específico aqui abordado. Segundo Roedenbeck et al. (2007), pesquisas realizadas no Reino Unido indicaram que os EIA, por falta de rigor científico, não permitem inferências úteis e não capturam informação ecológica relevante, mas, mesmo assim, estes estudos são a base para a definição das medidas de mitigação dos impactos das estradas. Foram também verificadas várias lacunas de análise nas avaliações relacionadas às estradas nos Estados Unidos em meados da década passada, representadas pela ausência de métodos, indicadores e dados padronizados, problemas na determinação de escalas de avaliação e abordagens concentradas em componentes dos ecossistemas específicos (como uma espécie em extinção), ao invés de privilegiar a avaliação integrada (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2005). Para Robinson, Duinker e Beazley (2010) guias, normas e a legislação geralmente se detêm em indicar as melhores práticas para minimizar apenas a influência local, específica e de curto prazo da construção de estradas sobre a geometria dos canais de cursos d'água e erosão do solo, ignorando a consequências sobre a qualidade do habitat, processos ecológicos e a biota. Por aqui, sendo considerado modelo de gestão ambiental de rodovias (DNIT, 2012; DNIT, 2013a; DNIT 2013b), o licenciamento da BR-101 Sul apresenta problemas semelhantes àqueles mencionados pelos autores e provavelmente reflete uma condição que deve ser comum aos demais processos desta natureza.

Porém, o fato de lacunas estarem presentes em vários casos e em muitos lugares não quer dizer que não devam ser empreendidos esforços para preenchê-las. E o bom planejamento dos empreendimentos e dos respectivos processos de licenciamento, numa perspectiva integrada e fortemente calcada na aplicação da ciência ecológica, é uma forma de fazê-lo.

Com os subsídios fornecidos pela teoria ecológica, o órgão licenciador poderá emitir termos de referência que formulem questões que levem os estudos elaborados pelos empreendedores a responder como a estrada, considerando todas as suas interações, vai afetar (ou está afetando) a conectividade, como podem interferir nos processos ecológicos, quais são os processos afetados e como isso se expressará (ou está se expressando) no tempo e no espaço e, por fim, o que estaria indicado para restabelecer processos já alterados. Estudos fundamentados nessas bases seriam capazes de dar suporte à proposição e adoção de medidas efetivas para evitar ou minimizar tais efeitos, privilegiando o designe de estradas ambientalmente adequadas, manejadas de acordo com as melhores práticas. Isso sem que sejam exigidos maiores investimentos. Há estudos que demonstraram que há ganhos financeiros e ecológicos quando o planejamento dos transportes e a ecologia cooperam desde as fases iniciais dos processos de decisão sobre intervenções nesta área (van der Ree et al., 2011).

7. CONCLUSÕES

Avaliado, o processo de licenciamento da BR-101 Sul revelou uma importante lacuna principal: não identifica o cerne do problema relacionado às estradas enquanto elemento danoso à natureza, ao não compreender que estas estruturas interagem com componentes das paisagens, que os seus impactos interagem entre si e que este conjunto de efeitos acaba por interferir decisivamente para a alteração ou bloqueio de processos ecológicos, em escalas espaciais e temporais amplas, acarretando em perda de biodiversidade. O licenciamento não apreendeu como e o quanto as estradas estão associadas à perda conectividade e à ruptura de processos ecológicos.

Isso tem origem na fundamentação e nos parâmetros utilizados para a avaliação dos impactos do empreendimento, que não incorporam teoria ecológica, cujo arcabouço pode explicar os reais efeitos das estradas sobre o meio ambiente. As lacunas teóricas do licenciamento se traduzem na grande disparidade entre a abordagem adotada neste processo e aquela dada aos impactos ambientais das estradas na literatura científica.

A análise comparativa entre essas duas abordagens distintas, realizada neste trabalho, revelou que a teoria ecológica, ao abordar os impactos das estradas, os associa sempre às interferências que estas estruturas exercem sobre processos ecológicos, enfocando seus efeitos inclusive em larga escala espacial e temporal, e que isto tudo resulta, em última análise, em perda de biodiversidade. Já a abordagem do licenciamento da BR-101 Sul é marcada pelo foco e valorização predominante de eventos pontuais e transitórios, na quase totalidade das vezes incidentes sobre áreas circunscritas à própria estrada, sua faixa de domínio e estruturas associadas, restritos à duração das intervenções para sua implantação.

Assim, enquanto os conceitos teórico-científicos apontam que os efeitos das estradas são explicados através de uma abordagem ampla, que integre os impactos das estradas e considere sua expressão no espaço e no tempo, o licenciamento analisado, desde os estudos realizados até as decisões posteriores e mais recentes, vem se pautando numa uma abordagem pontual, fragmentada e que limita os impactos atribuídos à estrada em escalas restritas

de espaço e tempo. Tanto é assim, que o licenciamento não foi capaz sequer de identificar e avaliar a quase totalidade dos impactos da operação da rodovia antes e depois da duplicação.

Com avaliações comprometidas desde a origem, a mitigação proposta pelo licenciamento se resume também, na quase totalidade, a medidas de caráter corretivo de danos menores e pontuais, enquanto a teoria ecológica indica a adoção de soluções de designe e manejo das estradas para reduzir ou evitar seus efeitos.

Ao não ser capaz de avaliar corretamente os impactos de uma estrada, qualquer que seja, o licenciamento acaba por permitir que se perca uma oportunidade muito própria e, às vezes, rara de promover um jeito novo de planejar estradas, avaliando seus impactos numa perspectiva integrada e mais completa. Com isso, não é possível impedir que os danos provocados pelas estradas persistam, que suas consequências nocivas sigam se agravando continuamente e que estas estruturas continuem a contribuir para a fragmentação de paisagens, perda de conectividade, comprometimento de processos ecológicos e perda de biodiversidade. Perde-se também a oportunidade de pensar, identificar, propor e adotar práticas e soluções para estradas ambientalmente adequadas.

Uma das alternativas para não desperdiçar essas oportunidades pode ser a aplicação de ecologia aos processos de licenciamento de estradas. E a maior contribuição que a teoria ecológica pode dar ao licenciamento de estradas é permitir que este processo compreenda e esteja fundamentado na premissa básica de que a existência, uso e permanência das estradas desfavorecem os processos ecológicos naturais e favorecem processos originalmente estranhos às paisagens.

A teoria ecológica e a ecologia de estradas, particularmente, oferecem muitos conceitos e subsídios aplicáveis ao licenciamento ambiental das estradas. A produção científica na área descreve os impactos das estradas e suas relações e interações, entre si e com outros elementos dos ecossistemas e das paisagens, e aponta como os efeitos destas interações se expressam no tempo e no espaço.

Acessar estas informações e sistematizá-las permite a compreensão do conjunto e a percepção de como são afetados os processos, ecossistemas, fluxos, dinâmicas, regimes de perturbação, populações, espécies e outros elementos e propriedades dos meios físico e biótico. De posse destas informações é possível avaliar qualquer caso específico. Mas isso permitirá, sobretudo, que parâmetros e diretrizes mais claros e fundamentados norteiem os estudos ambientais prévios e os façam responder como os processos ecológicos podem ser afetados pela estrada de interesse, como isto poderá se expressar e onde se pode esperar que esta expressão seja notada no caso particular.

Na avaliação específica de cada caso, teorias, conceitos e outros subsídios da ecologia de estradas contribuem para a análise e definições mais acertadas sobre a intervenção pretendida, evitando e minimizando seus efeitos danosos desde a sua concepção.

Neste trabalho, sem qualquer pretensão de esgotar as proposições de possibilidades de aplicação dos conceitos teórico-científicos da ecologia no licenciamento, alguns foram utilizados para a análise do caso da BR-101 Sul. Esse exercício mostrou como a zona de efeito e o modelo de interações das estradas com os sistemas hídricos, podem oferecer parâmetros para a delimitação da área afetada e de alcance dos impactos, auxiliando na delimitação da área de influência do empreendimento. O traçado da estrada pode ser avaliado a partir de elementos que apontam as interferências e impactos das estradas em relação à localização de cada trecho, de acordo com a configuração das manchas de habitat, redes hídricas, topografia e presença de espécies e habitat raros. Já a rede e a densidade de estradas e medidas de acessibilidade do habitat ajudam a compreender as interações das estradas, com outras estradas e com as manchas de habitat existentes, auxiliando na decisão quanto ao posicionamento espacial desta estrutura na paisagem de interesse, especialmente visando a manutenção ou restabelecimento da conectividade.

Esses elementos levam em conta a vulnerabilidade de espécie, grupos e ecossistemas, comprometimento de serviços ecossistêmicos e diversos outros

aspectos não tratados diretamente neste trabalho, mas que também já foram investigados cientificamente e devem ser considerados nas análises.

Utilizados tais elementos, a análise prévia dos impactos de empreendimentos ganha em qualidade, porque, fortemente calcada numa abordagem marcada pelos conceitos da ecologia, poderá dar o suporte necessário à investigação, identificação e definição de medidas de mitigação objetivas, fundamentadas, justificadas e mais efetivas. Lastreará também o monitoramento dos efeitos ecológicos das estradas e do próprio acerto das decisões tomadas, permitindo o ajuste contínuo do processo.

Aplicar ecologia ao licenciamento, ao contrário do que alguns podem pensar, confere objetividade ao licenciamento, ao contrário do que vem ocorrendo através da utilização dos critérios de avaliação usualmente empregados, que podem permitir um grau maior de subjetividade.

No caso da duplicação da BR-101 Sul, após análise do seu licenciamento, não foi possível identificar critérios claros para muitas decisões tomadas no decorrer do processo. Outras foram tomadas com base no maior grau de subjetividade possível, como no caso da delimitação de áreas de influência do empreendimento, estabelecidas de acordo com a práxis adotada comumente nos estudos de impacto ambiental, de delimitar um perímetro no entorno do empreendimento, de dimensões arbitrárias, cujo critério para o dimensionamento não se sabe de onde se originou.

Ao contrário, ao aplicar as premissas teórico-conceituais da ecologia no licenciamento, se lança mão de toda uma retaguarda de informações que confere aos parâmetros destas originados um grau maior de objetividade e clareza. Por isso, tais parâmetros são defensáveis, podem e devem ser do conhecimento das partes interessadas no licenciamento e seguramente podem ser compreendidos e aceitos com facilidade.

Essa objetividade, além da capacidade de delinear estudos durante o licenciamento, tem o potencial de racionalizá-los, dispensando descrições copiosas, investigações onerosas e a produção de um volume considerável de informações que acabam por não ser úteis, porque, simplesmente, não ajudam a responder quais são, de fato, os impactos da estrada.

Por sua vez, estudos de melhor qualidade, mais objetivos e fundamentados influenciarão as etapas posteriores do processo, dando suporte à definição de estratégias de mitigação e monitoramento no limite do necessário e justificável, dentro de programas ambientais coerentes, ao contrário do que ocorreu no caso da BR-101 Sul, cujos programas ambientais não contemplavam a maior parte dos impactos esperados para a estrada, segundo a avaliação feita a partir das premissas da ecologia de estradas.

O licenciamento ambiental, pela própria interação que promove entre os interessados e entre diferentes áreas do conhecimento, tem por si só o potencial de promover a aproximação entre experiências distintas e visões diferentes sobre as estradas, às vezes aparentemente opostas, geralmente associadas a uma suposta disputa entre desenvolvimentistas e conservacionistas. A proposição aqui formulada de diretrizes básicas e métodos para a condução de procedimentos de licenciamento, aplicada às fases de planejamento do processo, por sugerir um mesmo arcabouço a ser compartilhado entre o empreendedor e o órgão licenciador, no qual estão explicitados os fundamentos que vão pautar simultânea e articuladamente a atuação de ambos a cada etapa do processo, pode potencializar o intercâmbio de conhecimentos e expertises, favorecer a convergência e a compatibilização de visões das questões relacionadas às estradas, reduzindo conflitos e viabilizando projetos que atendam às demandas de ambas as partes.

Por fim, as avaliações realizadas permitem inferir que é possível aprimorar o processo de licenciamento de estradas através da aplicação da ecologia sem que isso aumente a sua complexidade, nem que haja obrigatoriamente a necessidade de alterar normas e procedimentos atualmente utilizados. Contudo, isso altera profundamente os fundamentos do licenciamento e, espera-se, também possa alterar seus resultados práticos, tornando-o capaz de preencher lacunas como as encontradas no processo analisado, por compreender os efeitos ecológicos das estradas na sua essência e inteireza, permitindo decisões mais acertadas e contribuindo decisivamente para a diminuição dos efeitos danosos das estradas.

REFERÊNCIAS

- ABBOT T, I.M.; BUTLER, F.; HARRISON, S. When flyways meet highways – the relative permeability of different motorway crossing sites to functionally diverse bat species. **Landscape and Urban Planning**, n. 106, v.4, pp: 293-302, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016920461200103X>> Acesso em 23 abr 2013.
- BAGER, A.; FONTOURA, V. Ecologia de estradas no Brasil – contexto histórico e perspectivas futuras. *In*: Bager, A. [Ed], Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas. **Editora UFLA**, Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2012, pp. 13-33.
- BISSONETTE, J.A.; ADAIR, W. Restoring habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wildlife crossings. **Biological Conservation**, n. 141, v. 2, pp: 482-488, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320707004235>>. Acesso em 26 nov 2012.
- BRASIL. Lei Federal nº 10.233, 05 de junho de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10233.htm>. Acesso em 18 abr. 2013.
- BUENO, C.; FREITAS, L.E.; COUTINHO, B.H.; OSWALDO CRUZ, J.H.; CASTRO JÚNIOR, E. A distribuição espacial de atropelamentos da fauna silvestre e sua relação com a vegetação: estudo de caso da rodovia BR-040. *In*: Bager, A. [Ed], Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas. **Editora UFLA**, Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2012, pp. 167-178.
- CARR, L.W.; FAHRIG, L., POPE, S.E. Impacts of landscape transformation by roads. *In*: Gutzwiller, K.J. [Ed], Applying landscape ecology in biological conservation. **Springer-Verlag**, New York, 2002, pp: 225-243. Disponível em: <http://134.117.48.8/PDF/landPub/02/02CarretalGutzwillerBook.pdf>> Acesso em 10 jul 2013.
- COFFIN, A.W. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. **Journal of Transportation Geography**, n. 15, v. 5, p: 396-406, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692306001177>>. Acesso em 23 out 2012.

CRAVER, C.F. When mechanistic models explain. **Synthese**, n. 153, 2006, pp:355–376. Disponível em: <<http://www.centenary.edu/attachments/philosophy/aizawa/courses/philsconf2010/craver2006.pdf>> Acesso em 07 nov 2013.

DNER – IME (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Instituto Militar de Engenharia). Projeto de ampliação da capacidade rodoviária das ligações com os países do MERCOSUL, BR-101 Florianópolis (SC) - Osório (RS) – Estudo de Impacto Ambiental (EIA). **Convênio Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Instituto Militar de Engenharia**, 5 v., 1999. Arquivo eletrônico.

DNER-IME (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Instituto Militar de Engenharia). Projeto de ampliação da capacidade rodoviária das ligações com os países do MERCOSUL, BR-101 Florianópolis (SC) - Osório (RS) – Projeto Básico Ambiental (PBA). **Convênio Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Instituto Militar de Engenharia**, 9 tomos, 2001. Arquivo eletrônico.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). Gestão ambiental de rodovias: apresentação. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**, 2012. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/meio-ambiente/acoes-e-atividades/apresentacoes-institucionais/gestao-ambiental-de-rodovias.pdf>>. Acesso em 13 maio 2013.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). Licenciamento e gestão ambiental de empreendimentos lineares: situação atual e perspectivas futuras: apresentação. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**, 2013a. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/meio-ambiente/acoes-e-atividades/apresentacoes-institucionais/licenciamento-e-gestao-ambiental-de-empreendimentos-lineares-situacao-atual-e-perspectivas-futuras.pdf>>. Acesso em 13 maio 2013.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). Gestão Ambiental de Infraestrutura de Transportes: apresentação. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**, 2013b. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/meio-ambiente/acoes-e-atividades/apresentacoes-institucionais/gestao-ambiental-de-infraestrutura-de-transportes.pdf>>. Acesso em 13 maio 2013.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). Evolução da malha rodoviária federal: institucional. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**, 2013c. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/plano-nacional-de-viacao/evolucao-da-malha-federal>>. Acesso em 09 abr 2013.

EIGENBROD, F.; HECNAR, S.J.; FAHRIG, L. Accessible habitat: an improved measure of the effects of habitat loss and roads on wildlife populations. **Landscape Ecology**, n. 23, v. 2, 2008, pp: 159–168. Disponível em: <http://apps.webofknowledge.com.ez10.periodicos.capes.gov.br/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=36&SID=1DpliN867AKneoMO3EI&page=1&doc=1>. Acesso em 03 dez 2012.

EIGENBROD, F., HECNAR, S.J., FAHRIG, L. Quantifying the road-effect zone: threshold effects of a motorway on anuran populations in Ontario, Canada. **Ecology and Society**, n. 14, v. 1, 2009, art 24. Disponível em: <<http://www.glel.carleton.ca/PDF/roadPub/09/09EigenbrodetalEcolAndSoc.pdf>>. Acesso em 03 dez 2012.

EPL (Empresa de Planejamento e Logística). Atribuições da EPL frente ao licenciamento ambiental. *In*: I Seminário sobre as perspectivas do processo de licenciamento ambiental para os empreendimentos do setor de transportes: apresentação. **Empresa de Planejamento e Logística**, 13 de junho de 2013. Arquivo eletrônico.

FAHRIG, L.; RYTWINSKI, T. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. **Ecology and Society**, n.14, v. 1, 2009, art. 21. Disponível em: <http://apps.webofknowledge.com.ez10.periodicos.capes.gov.br/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=27&SID=1DpliN867AKneoMO3EI&page=1&doc=1>. Acesso em 26 dez 2012.

FORMAN, R.T.T.; COLLINGE, S.K.. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. **Landscape and Urban Planning**, n. 37, 1997, pp: 129-135. Disponível em: <http://moodle.technion.ac.il/pluginfile.php/361000/mod_resource/content/0/Forman_1997_Nature_Planning.pdf>. Acesso em 10 jul 2013.

FORMAN, R.T.T.; FRIEDMAN, D.S.; FITZHENRY, D.; MARTIN, J.D., CHEN, A.S.; ALEXANDER, L.E. Ecological effects of roads: toward three summary indices and an overview for North America. **Trans Wild Alliance**, Ref. 21, 1997, pp: 40–54. Disponível em: <http://www.transwildalliance.com/resources/2010518125311.effects.roads.Habitat.fragmentation_Forman_.pdf>. Acesso em 23 out 2012.

FORMAN, R.T.T. Road Ecology: a solution for the giant embracing us **Landscape Ecology**, n. 13, 1998, pp: II-V. Disponível em: <[http://web.uniplovdiv.bg/mollov/TEMP/road_mortality/Forman_R_\(1998\).pdf](http://web.uniplovdiv.bg/mollov/TEMP/road_mortality/Forman_R_(1998).pdf)>. Acesso em 23 out 2012.

- FORMAN, R.T.T.; ALEXANDER, L.E. Roads and their major ecological effects. **Annual Reviews in Ecology and Systematics**, n. 29, 1998, pp: 207–231. Disponível em: <http://scholar.google.com.br/scholar_url?hl=pt-BR&q=http://pracownia.org.pl/pliki/roads_and_their_major_ecological_effects.pdf&sa=X&scisig=AAGBfm09kSgWY_8yFVwLC3odbDyGFIWYT&oi=scholar&ei=9W6IUuO5M4SUKqfTooGoCQ&ved=0CCoQgAMoADAA>. Acesso em 26 nov 2012.
- FORMAN, R.T.T. Spatial models as an emerging foundation of road system ecology and a handle for transportation planning and policy. **Research and Innovative Technology Administration (RITA)**, National Transportation Library, 1999, pp: 113-118. Disponível em: <http://ntl.bts.gov/DOCS/ICOWET_III/SpatialModels.pdf>. Acesso em 26 nov 2012.
- FORMAN, R.T.T. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. **Conservation Biology**, n. 14, v. 1, 2000, pp:31-35. Disponível em: <http://www.fws.gov/southwest/es/documents/R2ES/LitCited/LPC_2012/Forman_2000.pdf>. Acesso em 03 dez 2012.
- FORMAN, R.T.T.; DEBLINGER, R.D. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. **Conservation Biology**, n.14, 2000, pp: 36–46. Disponível em: <http://web.uniplovdiv.bg/mollov/TEMP/road_mortality/road_effect_zone_600_m%5B1%5D.pdf>. Acesso em 26 nov 2012.
- FORMAN, R.T.T.; REINEKING, B.; HERSPERGER, A.M. Road traffic and nearby grassland birds patterns in a suburbanizing landscape. **Environmental Management**, n. 29, v.6, 2002, pp: 782-800. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00267-001-0065-4#page-1>>. Acesso em 03 dez 2012.
- FORMAN, R.T.T.; SPERLING, D.; BISSONETTE, J.A., CLEVINGER, A.P.; CUTSHALL, C.D.; DALE, V.H.; FAHRIG, L.; FRANCE, R.; GOLDMAN, C.R.; HEANUE, K.; JONES, J.A.; SWANSON, F.J.; TURRENTINE, T.; WINTER, T.C. Road Ecology – Science and Solutions. **Island Press**, Washington, 2003. 481 p. Disponível em: <<http://islandpress.org/ip/books/book/islandpress/R/bo3558764.html>>.
- GLISTA, D.J.; DeVAULT, T.L.; DeWOODY, J.A. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. **Landscape and Urban Planning**, n. 91 , 2009, pp: 1-7. Disponível em: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1842&context=icwdm_usdanwrc&sei-redir=1&referer=http%3A%2F%2Fscholar.google.com.br%2Fscholar%3Fq%3DA%2Breview%2Bof%2Bmitigation%2Bmeasures%2Bfor%2Breducing%2Bwildlife%2Bmortality%2Bon%2Broadways%26btnG%3D%26hl%3Dpt-BR%26as_sdt%3D0%252C5#search=%22review%20mitigation%20measures%20reducing%20wildlife%20mortality%20roadways%22>. Acesso em 26 nov 2012.

- GOOSEM, M. Fragmentation impacts caused by roads through rainforest. **Current Science**, n. 93, v.11, 2007, pp: 1587-1595. Disponível em: <http://www.eve.ucdavis.edu/catoft/eve101/Protected/PDF/lit/Goosem_2007.pdf>. Acesso em 10 jul 2013.
- GRILO, C. A rede viária e a fauna – impactos, mitigação e implicações para a conservação das espécies em Portugal. *In*: Bager, A. [Ed]. Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas. **Editora UFLA**, Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2012, pp: 35-57.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Instrução Normativa nº 184/2008, de 17 de julho de 2008. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais**. Disponível em: <<http://www.mprs.mp.br/ambiente/legislacao/id4979.htm>>. Acesso em 07 jul 2012.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Sistema Informatizado de licenciamento ambiental federal: institucional. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais**, 2013a. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/licenciamento/>>. Acesso em 07 jul 2012.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Licenciamento Ambiental Federal – Empresa de Planejamento Logístico. *In*: I Seminário sobre as perspectivas do processo de licenciamento ambiental para os empreendimentos do setor de transportes: apresentação. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais**, 2013b. Arquivo eletrônico.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Licenciamento Ambiental Federal - Empreendimentos de Transporte. *In* I Seminário sobre as perspectivas do processo de licenciamento ambiental para os empreendimentos do setor de transportes: apresentação. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais**, 2013c. Arquivo eletrônico.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Área territorial brasileira – consulta por Unidade da Federação: institucional. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/principal.shtm>>. Acesso em 13 mai 2013.
- JACKSON, N.D.; FAHRIG, L. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. **Biological Conservation**, n. 144, v.12, 2011, pp: 3143-3148. Disponível em: <http://apps.webofknowledge.com.ez10.periodicos.capes.gov.br/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=17&SID=1DpliN867AKneoMO3EI&page=1&doc=1>. Acesso em 03 dez 2012.

- JAEGER, J.A.G.; BOWMAN, J.; BRENNAN, J.; FAHRIG, L.; BERT, D.; BOUCHARD, J.; CHARBONNEAU, N.; FRANK, K.; GRUBER, B.; von TOSCHANOWITZ, K.T. Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. **Ecological Modelling**, n. 185, v. 12, 2005, pp: 329–348. Disponível em: <<ftp://ftp.odot.state.or.us/techserv/ORWildlifeMoveStrategy/Reading/Jaeger%20et%20al%202005%20EcoMod.pdf>>. Acesso em 10 jul 2013.
- JONES, J.A.; SWANSON, F.J.; WEMPLE, B.C.; SNYDER, K. Effects of roads on hydrology, geomorphology, and disturbance patches in stream networks. **Conservation Biology**, n. 14, v. 1, 2000, pp: 76-85. Disponível em: <http://myweb.facstaff.wvu.edu/wallin/envr435/pdf_files/jones_etal_2000.pdf>. Acesso em 21 nov 2012.
- KOCIOLEK, A.V.; CLEVINGER, A.P.; CLAIR, C.C.S.T.; POPE, D.S. Effects of road networks on birds populations. **Conservation Biology**, n. 25, v. 2, 2010, pp: 241-249. Disponível em: <<http://y2y.net/files/983-effects-of-road-networks-on-bird-populations.pdf>>. Acesso em 23 out 2012.
- LESBARRÈRES, D; FAHRIG, L. Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know? **Trends in Ecology and Evolution**, n. 27, v. 7, 2012, pp: 374-380. Disponível em: <http://apps.webofknowledge.com.ez10.periodicos.capes.gov.br/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=19&SID=1DpliN867AKneoMO3EI&page=1&doc=1>. Acesso em 03 dez 2012.
- McGREGOR, R.L.; BENDER, D.J.; FAHRIG, L. Do small mammals avoid roads because of the traffic? **Journal of Applied Ecology**, n. 45, v.1, 2008, pp: 117–123. Disponível em: <http://apps.webofknowledge.com.ez10.periodicos.capes.gov.br/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=38&SID=1DpliN867AKneoMO3EI&page=1&doc=1> Acesso em 10 out 2012.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). Licenciamento ambiental: institucional. **Ministério do Meio Ambiente**, 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/portal-nacional-de-licenciamento-ambiental/licenciamento-ambiental>>. Acesso em 30 jan 2013.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). Portaria Ministerial nº 420/2011, de 26 de outubro de 2011. **Ministério do Meio Ambiente**, 2011. Disponível em: <http://ambienteduran.eng.br/system/files/publicador/FEDERAL/PORTARIA_420_MMA.pdf>. Acesso em 09 abr 2013.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Assessing and managing the ecological impacts of paved roads. **The National Academies Press**, Washington DC, 2005, 294 p. Disponível em: <<http://books.nap.edu/catalog/11535.html>>. Acesso em 26 nov 2012.

- ROBINSON, C.; DUINKER, P.N.; BEAZLEY, K.F. A conceptual framework for understanding, assessing, and mitigating ecological effects of forest roads. **Environmental Review**, n.18, 2010, pp: 61–86. Disponível em: <http://apps.webofknowledge.com.ez10.periodicos.capes.gov.br/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=21&SID=1DpliN867AKneoMO3EI&page=1&doc=1>. Acesso em 26 nov 2012.
- ROEDENBECK, I.A.; FAHRIG, L.; FINDLAY, C.S.; HOULAHAN, J.E.; JAEGER, J.A.G.; KLAR, N.; KRAMER-SCHADT, S.; van der GRIFT, E. The Rauschholzhausen Agenda for road ecology. **Ecology and Society**, n. 12, v. 1, 2007, pp: 11. Disponível em: <<http://torontozoo.com/pdfs/doc3-BACI.pdf>>. Acesso em 12 jun 2013.
- ROSA, C.A.; CARDOSO, T.R.; TEIXEIRA, F.Z.; BAGER, A. Atropelamento de fauna selvagem: amostragem e análise de dados em ecologia de estradas. *In*: Bager, A. [Ed]. Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas. **Editora UFLA**, Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2012, pp: 79-100.
- SEILER, A. Ecological effects of roads – a review. Introductory Research Essay, **Swedish University of Agricultural Sciences**, Uppsala, 2001, 40 p. Disponível em: <<http://idd00s4z.eresmas.net/doc/transp/eceffectsonroads.pdf>>. Acesso em 26 nov 2012.
- SMITH, D.J.; HARRIS, L.D.; MAZZOTTI, F.J. A landscape approach to examining the impacts of roads on the ecological function associated with wildlife movement and movement corridors – problems and solutions. **National Technical Information Service**, Alexandria, 1996, pp: 1-13. Disponível em: <<http://www.icoet.net/downloads/96paper20.pdf>>. Acesso em 23 out 2012.
- SPELLERBERG, I.F. Ecological effects of roads and traffic – a literature review. **Global Ecology and Biogeography Letters**, n.7, 1998, pp: 317–333. Disponível em: <http://apps.webofknowledge.com.ez10.periodicos.capes.gov.br/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=23&SID=1DpliN867AKneoMO3EI&page=1&doc=1>. Acesso em 26 nov 2012.
- SWANSON, F.; JONES, J.; WEMPLE, B.; SNYDER, K. Roads in forest watersheds – assessing effects from a landscape perspective. *In*: Proceedings of the Seventh Biennial Watershed Management Council Conference, **Water Resources Center Report**, n. 98, 1999, pp: 19-23. Disponível em: <<http://andrewsforest.oregonstate.edu/pubs/pdf/pub2578.pdf>>. Acesso em 23 out 2012.

- TROMBULAK, S.C.; FRISSELL, C.A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. **Conservation Biology**, n. 14, v. 1, 2000, pp: 18-30. Disponível em: <http://ulpeis.anl.gov/documents/dpeis/references/pdfs/Trombulak_and_Fris sell_2000.pdf>. Acesso em 26 nov 2012.
- van der REE, R.; JAEGER, J.A.G.; van der GRIFT, E.A.; CLEVINGER, A.P. Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function – road ecology is moving toward larger scales. **Ecology and Society**, n. 16, v. 1, 2011, pp: 48. Disponível em: <http://spectrum.library.concordia.ca/974450/1/van_der_Ree_Jaeger_van_der_Grift_Clevenger_2011_Ecology_and_Society_-_Effectc_of_Roads_and_Traffic_on_Wildlife_Editorial.pdf>. Acesso em 23 abr 2013.
- VASCONCELOS, P.B.; ARAÚJO, G.M. Comparação da estrutura arbórea de reservas e áreas na beira de estradas de cerrado (sentido restrito) no Triângulo Mineiro. *In*: Bager, A. [Ed]. *Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas*. Editora UFLA, Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2012, pp: 283-296.