



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**ANÁLISE ESPACIAL INTEGRADA DA DEGRADAÇÃO DA TERRA EM  
ÁREA DO BIOMA CAATINGA**

Ana Catarina das Neves Alves

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientado pelo Dr.  
Gustavo Felipe Balué Arcoverde e  
Me. Jocilene Dantas Barros.

INPE  
São José dos Campos  
2022



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**ANÁLISE ESPACIAL INTEGRADA DA DEGRADAÇÃO DA TERRA EM  
ÁREA DO BIOMA CAATINGA**

Ana Catarina das Neves Alves

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientado pelo Dr.  
Gustavo Felipe Balué Arcoverde e  
Me. Jocilene Dantas Barros.

INPE  
São José dos Campos  
2022

## RESUMO

A degradação, ocasionada pela exploração desenfreada do ser humano, pode causar inúmeros prejuízos socioeconômicos e ambientais, sendo um fenômeno sistêmico. A aplicação do modelo conceitual FPEIR (Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto, Resposta) junto com indicadores permite entender a degradação da terra como um processo composto por relações socioambientais que interagem e mensurar a degradação de uma maneira sintética e de fácil compreensão. A análise espacial possibilita verificar áreas mais vulneráveis e áreas com maior potencial para reverter a degradação. A degradação é uma das preocupações no bioma da Caatinga, sobretudo no semiárido onde o submédio São Francisco está incluído. O trabalho tem como objetivo analisar a degradação da terra na sub-bacia hidrográfica Submédio São Francisco por meio da abordagem FPEIR e análise espacial. Foi realizada uma revisão bibliográfica e seleção de dados para gerar indicadores; os indicadores foram classificados segundo a abordagem FPEIR e importados no QGIS e no FillCell em grades de 5 x 5 km; posteriormente foram correlacionados através do RStudio; os indicadores selecionados foram normalizados, e os outliers excluídos; foi calculada uma mediana para gerar um índice para cada componente (F, P, E, I, R); e por fim, foram gerados mapas. Os resultados em forma de 5 índices espacializados, resultantes de 17 indicadores, mostram padrões distintos em cada componente, sendo que nos componentes F, P, E e I, as áreas com maior vulnerabilidade à degradação são aquelas próximas ao valor 1, e no caso do componente R, as áreas com maior potencial para reverter a degradação correspondem àquelas com valores mais próximos a 1. O mapa do índice de Força Motriz apresenta áreas com maior potencial de degradação em várias regiões da bacia; o mapa do índice de Pressão mostra área mais críticas, com maiores valores, no oeste e norte da bacia; o mapa do índice de Estado possui grandes regiões mais suscetíveis no centro e sudoeste da bacia; o mapa do índice de Impacto apresentam maiores valores nas regiões sudeste e noroeste da bacia; por fim, o mapa do índice de Resposta, concentra os maiores valores, com maior potencial de reverter a degradação, no leste e noroeste da bacia. Algumas atividades socioeconômicas e condições ambientais contribuem para gerar a degradação na bacia, dentre elas a ocupação rural, o desmatamento, as queimadas e a aridez. Isso gera impactos no meio, como nas pastagens e na agricultura. Algumas políticas públicas podem contribuir para reduzir a situação da degradação na bacia, como o nível de orientação técnica dada aos produtores rurais e a presença de unidades de conservação, embora também seja importante as iniciativas privadas de restauração ambiental e melhoria da qualidade ambiental para reverter esse processo.

**Palavras-chave:** Indicadores. Modelo FPEIR. Degradação da terra. Submédio São Francisco.

## **Lista de Figuras**

Figura 1 - Mapa de localização da área estudada	6
Figura 2 - Correlação entre os indicadores estudados	15
Figura 3 - Mapa do índice de Força Motriz	17
Figura 4 - Mapa do índice de Pressão	18
Figura 5 - Mapa do índice de Estado	20
Figura 6 - Mapa do índice de Impacto	21
Figura 7 - Mapa de pastagem degradada	22
Figura 8 - Mapa do índice de Resposta	23

## **Sumário**

<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo geral	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
<b>2. Desenvolvimento</b>	<b>3</b>
2.1. Revisão Bibliográfica	3
2.2. Caracterização da Área	6
2.3. Procedimentos metodológicos	7
2.3.1. Seleção de indicadores	7
2.3.2. Extração e tratamento de dados	8
<b>3. Resultados e Discussões</b>	<b>16</b>
<b>4. Conclusões</b>	<b>23</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>24</b>

## 1. Introdução

A degradação, ocasionada pela exploração desenfreada do ser humano, pode causar inúmeros prejuízos socioeconômicos e ambientais, sendo um fenômeno sistêmico. O Brasil é explorado desmedidamente desde sua colonização por exemplo, para expansão agropecuária e exploração de minerais. Atualmente, o homem tem consciência dos impactos que provoca, porém ainda continua sendo um grande problema.

A inegável relação homem-natureza impacta e degrada constantemente os biomas. Desde indiretamente – pela demanda de consumo, crescimento populacional – ou diretamente – expansão agropecuária e desmatamento –, o ser humano provoca desequilíbrios ambientais, destruição de habitats e até extinção de espécies.

Um bioma, segundo o IBGE (2021), é uma “área com dimensões normalmente superiores a um milhão de quilômetros quadrados em que o clima, a fisionomia da vegetação, o solo e a altitude são semelhantes ou aparentados”. Cada um desses fatores é fundamental para formação do ecossistema. No Brasil, há 6 tipos de biomas: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal e, discutido neste trabalho, Caatinga (ARAÚJO, 2014).

O bioma Caatinga é inteiramente brasileiro (LEAL et al., 2005). Segundo Granja (2017), a Caatinga é explorada desde a época colonial, com cerca de 46% do bioma degradado. Alguns fatores citados por alguns autores são: a presença de gado que compacta o solo; o estabelecimento de população humana no qual retira os habitat de outros animais; a expansão agrícola; todos esses elementos contribuem negativamente para a degradação (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009).

A bacia do Submédio São Francisco está totalmente inserida no bioma Caatinga. Há grande interesse em estudos neste local por ser um local propício para agricultura (VANDERLEI; DE QUADROS, DE SÁ, 2020), mas sobretudo com grandes áreas de terras em processo de desertificação - degradação em áreas áridas, semiáridas e subúmidas (CGEE, 2016).

A degradação da terra é definida pela UNCCD (2017) como a redução ou a perda da função biológica ou econômica da terra, seja em áreas de cultivo, pastagem, florestas ou bosques. O desgaste do solo é induzido geralmente através da ação humana, que, além de prejudicar os animais e as plantas do local, ainda impactam a longo prazo a população lá estabelecida (ACCIOLY, 2010). As áreas de clima árido, semiárido, ou subúmido seco, são mais preocupantes a este fenômeno pois tem potencial de sofrer com a desertificação (UNCCD, 1994).

Como o homem é mencionado em vários estudos (VIEIRA et al., 2015; LIMA et al., 2015), não é possível excluí-lo desta equação. Dados socioeconômicos são levados em consideração pois, mesmo que indiretamente, o ser humano prejudica ou ajuda no funcionamento de um ecossistema em sua integridade. Uma das maneiras de acompanhar a degradação da terra é por meio do uso de indicadores, que difere de uma variável, pois visam retratar aspectos da realidade de um fenômeno que não é diretamente mensurável, e que se constrói dentro de um modelo conceitual ou normativo (MAGGINO, 2017).

Para avaliar e compreender como os aspectos socioeconômicos e ambientais se relacionam, há um modelo conceitual chamado FPEIR (Força Motriz - Pressão - Estado - Impacto - Resposta). Esta abordagem consiste em apresentar as forças motrizes em que a sociedade atua (F), pressões diretas que a humanidade exerce sobre a natureza (P), alterações na qualidade e quantidade dos recursos naturais (E), impactos sociais e econômicos (I) e respostas do governo, dos cidadãos e de outros grupos para o fenômeno estudado (EEA, 1999).

Considerando o exposto, o objetivo geral do trabalho é analisar a degradação da terra na sub-bacia hidrográfica Submédio São Francisco por meio de indicadores na abordagem FPEIR e análise espacial.

A degradação é uma das preocupações no bioma da Caatinga, sobretudo no semiárido onde o submédio São Francisco está incluído. A análise espacial associada com a abordagem FPEIR (Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto, Resposta) permite verificar áreas mais vulneráveis e áreas com maior potencial para reverter esse processo.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Analisar a degradação da terra na sub-bacia hidrográfica Submédio São Francisco por meio da abordagem FPEIR e análise espacial.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

Aplicar a abordagem FPEIR na área de estudo a partir de indicadores socioeconômicos e ambientais representativos;

Gerar um índice a partir dos indicadores para representar a distribuição da degradação da terra na área de estudo.

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1. Revisão Bibliográfica**

#### **2.1.1. Degradação X Desertificação**

A degradação da terra é um assunto super preocupante para a comunidade científica e governamental. Por conta disto, a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD) foi criada em 1977 com o objetivo de mitigar ou parar o processo da desertificação. Foi firmado um Marco Estratégico de 2018 a 2030 para erradicar a desertificação, com várias medidas e indicadores para monitorar este processo.

Segundo a Lei nº 6.938, artigo 3º, inciso II, de 1981, degradação se define pela “alteração adversa das características do meio ambiente”, sendo mais abrangente; Sánchez (2006) coloca este conceito como qualquer impacto negativo que cause alteração adversa dos processos, funções, componentes ou qualidade ambiental. Apesar de certas divergências, é de comum acordo pelos autores que a degradação é sempre causada pelo ser humano.

Já a desertificação é um processo ou conjunto de fatores que deixam os locais parecidos com as características de desertos, fragilizando o ecossistema e agravando as



mudanças climáticas (CONTI, 2008). Porém, a UNCCD define como “degradação das terras das regiões áridas, semiáridas e sub-úmidas, resultante de diferentes fatores”, sendo esta definição mais direcionada à extração de indicadores.

### **2.1.2. Biomas**

O bioma é uma parte fundamental deste trabalho pois é de grande importância conhecer o local. Como citado anteriormente, o IBGE (2021) define este com conceito como área no qual clima, fisionomia da vegetação, solo e altitude são parecidos. Coutinho (2006) detalha, estabelecendo que é um espaço geográfico com características próximas de macroclima definido, de fitofisionomia ou formação vegetal, de fauna, assim como fatores físicos (altitude, solo, etc); reunidas, estes atributos contém uma ecologia própria.

### **2.1.3. Método FPEIR**

A estrutura do FPEIR - Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta - consegue conectar as ações do ser humano ao impacto ambiental que causam. Este método levanta questões sociais, econômicas, ambientais e culturais da população e do local para construção de indicadores, que facilitam a visualização dos resultados.

Apesar de ser um conceito amplamente discutido, há várias interpretações em sua definição. A Agência Europeia do Ambiente (EEA) (1999) determina que o modelo FPEIR vai reunir todas as ações humanas que podem culminar num impacto ambiental, e que, após algum tempo, irá retornar como dano para a sociedade. Burkhard e Müller (2007) trazem o dinamismo neste conceito: certa demanda por produtos por parte do ser humano é a força motriz; a extração destes recursos faz uma pressão no local; esta ação afeta o estado natural do ecossistema; os impactos são esperados de acordo com o tamanho do prejuízo ecológico e social da ação; e, assim, tomadas de decisão precisam ser feitas para indicar respostas adequadas para atenuar os efeitos.

### **2.1.4. Indicadores**

Os indicadores são uma maneira de mensurar a degradação da terra, e são definidos como uma forma de simplificar e sintetizar a informação para entender processos complexos (RUBIO; BOCHET, 1997; WARHURST, 2002). Tem como objetivos avaliar o estado atual das relações ambientais e econômicas; detectar

tendências e mudanças para que não ocorra problemas mais sérios; e identificar causas para ações mais adequadas (RUBIO; BOCHET, 1998).

Os indicadores são necessários para compor o método FPEIR. Cada indicador é classificado de acordo com a literatura para um componente deste sistema. Alguns autores concordam e discordam com algumas utilizações, então, de forma resumida, o quadro abaixo (Quadro 1) foi elaborado para comparar as definições.

Quadro 1. Componentes de FPEIR e autores

Componente	EEA (1999)	Buckhard e Müller (2007)	Sommerkorn et al (2013)
Força Motriz	Evolução e crescimento da população; influência indireta	Podem se relacionar a processos naturais e humanos	Ações que movem a sociedade
Pressão	Ações diretas que influenciam os demais aspectos ambientais	Influências mais diretas, mais fáceis de serem identificadas	Uso de terra
Estado	Descrevem qualidade e quantidade de fenômenos físicos, químicos e biológicos	Resultado de como o ambiente está depois de eventos de degradação	Mudança de estado do ambiente
Impacto	Impactos na sociedade e economia	Afetam a vida humana em contrapartida	Impactos diretos sobre a sociedade
Resposta	Ações que podem partir de indivíduos ou do governo respondendo ao dano ambiental	Ações humanas para reverter processos de degradação, sendo geralmente do poder público	Adaptação, mitigação, remediação e compensação

## 2.2. Caracterização da Área

A área de estudo desta pesquisa é a região do Submédio da bacia do São Francisco, com 125.755 km<sup>2</sup>. Como mostra a figura abaixo (Figura 1), o limite desta região passa pelos estados do Pernambuco e Bahia e abrange 84 municípios.

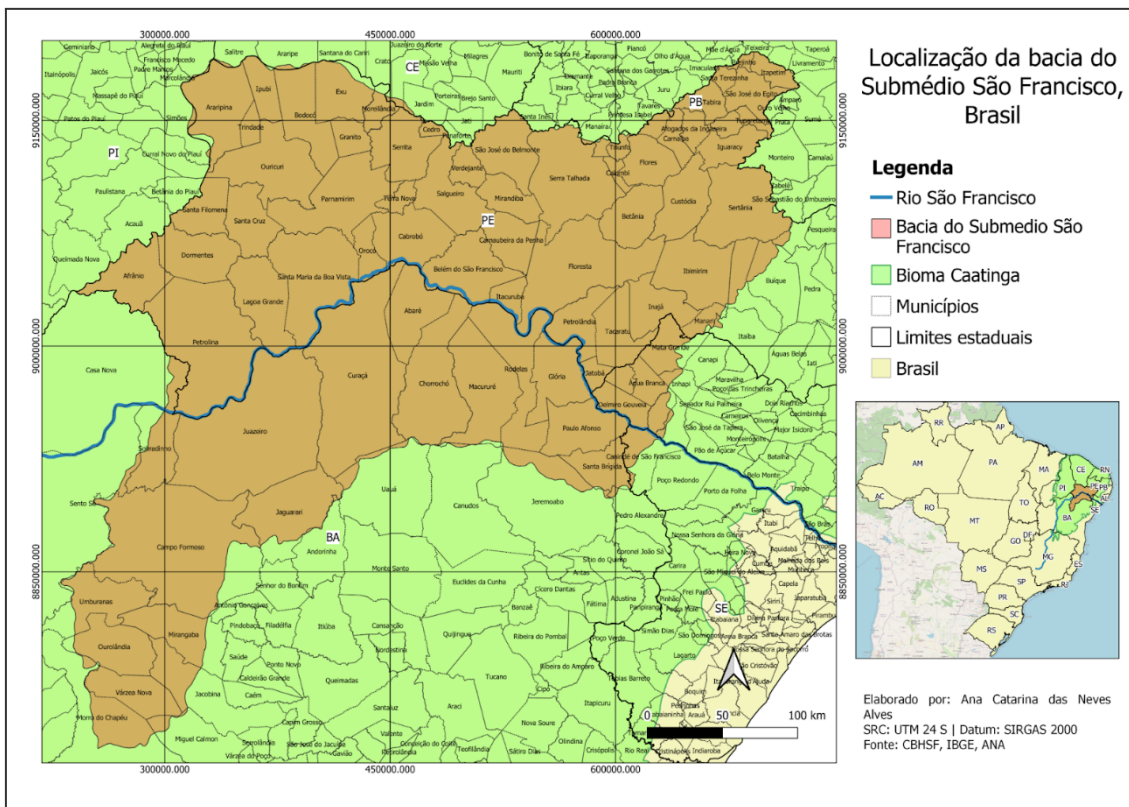


Figura 1. Mapa de localização da área estudada. Fonte: própria.

Uma bacia hidrográfica pode ser considerada como uma área de captação da água da chuva que se dirige para uma única saída, chamado exutório. Assim, seu limite é definido pelo relevo à sua volta (TUCCI, 1997). Yassuda (1993) ainda define que “é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural”.

O Rio São Francisco, principal rio da bacia do Submédio São Francisco, passa pelos Estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe e o Distrito Federal, com 645 mil km<sup>2</sup> de extensão. A bacia é dividida em quatro partes: alto, médio, submédio e baixo (ANA, 2002). Além da sua importância para abastecimento de água

para a população, o rio São Francisco é importante hidrovia nacional para exportação de produtos agrícolas (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2021).

A Caatinga, na qual a área de estudo está totalmente incluída (Figura 1), localiza-se principalmente na região Nordeste, ocupando os estados Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia e uma parcela de Minas Gerais. A extensão deste bioma abrange atualmente cerca de 920.000 km<sup>2</sup>, correspondendo a 11% do território brasileiro (TABARELLI, 2018).

O clima predominante na região é o semiárido, com temperaturas de 25° a 30°C e precipitações muito baixas (400 mm a 800 mm anuais) dentro do polígono das secas (FREIRE, 2019). Por conta da escassez de chuvas, a vegetação possui folhas decíduas, geralmente caracterizadas por troncos retorcidos e galhos branco-acinzentados.

Considerando aspectos socioeconômicos, a população do semiárido brasileiro cresceu em 6% de 2000 a 2017, com IDH de cada cidade desta região sendo abaixo da média brasileira (0,727) (IBGE, 2010; ATLAS BRASIL, 2010) e abriga cerca de 24 milhões de pessoas (AVALÁ et al., 2019). A maior parte da população vive em situação de extrema pobreza (59,1%), e a maior parte da renda das famílias provém de mulheres com benefícios governamentais (IBGE, 2010).

É importante destacar o desenvolvimento produtivo de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), onde houve investimentos públicos para desenvolver a agricultura. Esses investimentos incluem tanto valores econômicos, quanto em tecnologias para abastecimento de água. Nos dias atuais, são as melhores cidades para investir no agronegócio (URBAN SYSTEM, 2021).

## **2.3. Procedimentos metodológicos**

### **2.3.1. Seleção de indicadores**

Foi feita inicialmente uma revisão bibliográfica sobre a área de estudo, sobre trabalhos envolvendo a degradação da terra e sobre estudos que envolvem o uso de indicadores, com o objetivo de selecionar possíveis temas para gerar indicadores que estejam relacionados à degradação da terra.

O método escolhido para reunir dados para posterior comparação e espacialização em mapas foi a construção de indicadores. Esses dados foram classificados de acordo com o modelo FPEIR, segundo o EEA (1999). A seguir são apresentadas as etapas metodológicas para obtenção dos indicadores e geração dos mapas.

O Quadro 2 apresenta uma lista de 18 indicadores previamente selecionados, organizados na estrutura das dimensões do modelo conceitual e FPEIR. A fonte utilizada para obter o dado e as referências que serviram de base para escolher o indicador.

### 2.3.2. Extração e tratamento de dados

Os dados foram extraídos de variadas formas a depender de sua natureza. Alguns foram coletados a partir de planilhas de sites como IBGE ou Atlas Brasil, distribuídos por municípios. Outros dados passaram por processamentos de arquivos vetoriais (shapefiles) ou raster.

Os dados coletados a partir de tabelas, sendo estes Percentual dos estabelecimentos com produtor ocupante, Média da quantidade produzida de lenha ( $m^3$ ), Média do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, Média da produtividade agrícola de produtos básicos, Produtividade pecuária, Percentual dos estabelecimentos que utilizam agrotóxicos, Percentual do número de estabelecimentos que receberam programa de crédito, Percentual de alternativas ao abastecimento de água e Percentual do número de estabelecimentos que recebem orientação técnica foram importados para o QGIS 3.16.8 para serem unidos a um shapefile com o código dos municípios e posteriormente foram recortados considerando apenas os municípios que estão dentro ou tocam parcialmente o limite da bacia do Submédio São Francisco.

Quadro 2. Indicadores previamente selecionados na pesquisa

Nome do indicador	Código	Componente FPEIR	Fonte dos dados (nome da instituição e link)	Ano	Referência
Percentual dos estabelecimentos com produtor ocupante	Per_Ocupan	Força Motriz	IBGE ( <a href="https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6878">https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6878</a> )	2017	Lima et al (2016) - área dos estabelecimentos rurais sobre regime de não propriedade / FAO (2003) - Posse da terra, direitos de propriedade, acesso à terra / Agyemang, McDonald e Carve (2007) - Sistema de posse de terra
Média do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	IDH_M	Força Motriz	Atlas Brasil ( <a href="http://www.atlasbrasil.org.br/acervo/biblioteca">http://www.atlasbrasil.org.br/acervo/biblioteca</a> )	2010	Lima et al (2016) - população abaixo da linha da pobreza
Percentual de áreas rurais povoadas	Perc_ARura	Força Motriz	IBGE Censo Agro ( <a href="https://censos.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017/cnefe.html">https://censos.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017/cnefe.html</a> e setores censitários do censo agro de 2017)	2017	FAO (2003) - população / Agyemang, McDonald e Carve (2007) - crescimento populacional / Vieira, et al, 2015 - Densidade da população rural
Média da quantidade produzida de lenha (m <sup>3</sup> )	M_Lenha_M3	Pressão	IBGE ( <a href="https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/289">https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/289</a> )	2017	Gessesew (2017) - exploração excessiva da vegetação
Produtividade pecuária	Prod_Pec_P	Pressão	Baseado em dados do Censo Agropecuário do IBGE ( <a href="https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6911">https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6911</a> )	2017	Lima et al (2016) - carga animal excessiva / Porta e Poch (2011) - sobrepastoreio
Quantidade de focos de calor (acumulada)	Foco_acum	Pressão	BDQueimadas ( <a href="https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas">https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas</a> )	2000-2017	Lima et al (2016) - recorrência de incêndio / Porta e Poch (2011) - Incêndios em florestas e pastagens
Percentual de desmatamento (acumulado)	Perc_Desm	Pressão	PRODES ( <a href="http://terrabilis.dpi.inpe.br/downloads/">http://terrabilis.dpi.inpe.br/downloads/</a> )	Até 2016	Lima et al (2016) e Porta e Poch (2011) - desmatamento
Expansão agropecuária (%)	ExpAgr_per	Pressão	MapBiomias ( <a href="https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR">https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR</a> )	2000 e 2017	Lima et al (2016) - avanço da fronteira agropecuária
Percentual dos estabelecimentos que utilizam agrotóxicos	Per_Agrot	Pressão	IBGE ( <a href="https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6851">https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6851</a> )	2017	FAO (1994) e FAO (2003) - Não adoção de práticas de manejo de conservação do solo / FAO (1994) - uso desequilibrado de fertilizantes

**(excluído da análise depois da correlação)**

Percentual de áreas alta e muito alta erodibilidade e fase erodida	Perc_Erod	Estado	Embrapa ( <a href="http://geoinfo.cnps.embrapa.br/docum ents/2924">http://geoinfo.cnps.embrapa.br/docum ents/2924</a> )	2019	Lima et al (2016) - risco de erosão hídrica / Porta e Poch (2011) - degradação/erosão do solo
Média do índice de aridez	Arid_mean	Estado	Trabucco, Antonio; Zomer, Robert (2019)	2019, publicado em dados de 1970-2000 (ano de publicação do relatório do INPE)	Vieira et al. (2015), Lima et al. (2016) - índice de aridez
Média da declividade	Declv_mean	Estado	TOPODATA ( <a href="http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/">http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/</a> )	publicação do relatório do INPE)	Vieira et al. (2015) - declividade / Cowie et al. (2018) - geomorfologia como uma das condições naturais que causam ou agravam a degradação
Média da produtividade agrícola de produtos básicos	Prod_Agric	Impacto	Baseado em dados da Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE ( <a href="https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas">https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas</a> )	2010 a 2019	Lima et al (2016) - produtividade agrícola do feijão e do milho
Pastagens degradadas (%)	Perc_PD	Impacto	MapBiomias ( <a href="https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR">https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR</a> )	2017	Incluído pelos pesquisadores
Percentual do número de estabelecimentos que receberam programa de crédito	Med_PdCred	Resposta	IBGE ( <a href="https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6895">https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6895</a> )	2017	Lima et al (2016) - variação das transferências governamentais

Percentual de alternativas ao abastecimento de água	PAlter_aba	Resposta	Baseado em dados do Censo Demográfico do IBGE ( <a href="https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/3263">https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/3263</a> )	2010	Lima et al (2016) - famílias atendidas com tecnologias sociais de acesso à água
Percentual do número de estabelecimentos que recebem orientação técnica	Perc_OriTec	Resposta	IBGE ( <a href="https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6881">https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6881</a> )	2017	Incluído pelos pesquisadores
Percentual de UCs de proteção integral	Perc_UCs	Resposta	Ministério do Meio Ambiente ( <a href="http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm">http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm</a> )	2021	Lima et al (2016) - proteção por unidade de conservação / Porta e Poch (2011) - conservação da biodiversidade

---



A “Produtividade pecuária” refere-se a quantidade de cabeças de bovinos, caprinos e ovinos sobre áreas de pastagens plantadas em boas condições, portanto, áreas com maior valor foram consideradas como positivas por manterem um maior número de animais preservando a qualidade das pastagens. O cálculo deste indicador foi realizado pela média entre a produtividade de rebanhos (R) e leite (L). A produtividade de rebanhos foi calculada por meio da razão entre a quantidade de animais de pastoreio (soma do número total de cabeças de caprinos, ovinos e bovinos) e a área de pastagem plantada no município (em hectare), multiplicada pela porcentagem de pastagens consideradas em boas condições. A produtividade de leite foi calculada pela razão entre o total de produção de leite (mil litros) entre vacas, ovelhas e cabras, e o número de cabeças destes animais. Foi calculado o logaritmo neperiano da média entre os valores normalizados das duas produtividades consideradas (R e L) para aproximar os valores extremos da média.

O indicador “Média da produtividade agrícola” quantifica a eficiência da produção municipal dos alimentos básicos. Foram considerados como tal arroz, feijão, mandioca, milho e trigo. O cálculo é dado primeiramente pela razão da quantidade colhida de cada um das culturas agrícolas citadas em toneladas e as respectivas áreas plantadas. Foi calculada a média da razão citada para cada cultura agrícola entre os anos de 2010 a 2019. Aplicou-se uma normalização para cada produto agrícola, considerando os seus valores máximos e mínimos. O valor final foi resultante da média entre os valores normalizados de cada cultura. Nesse sentido, quanto maior o valor do indicador, maior é a produtividade agrícola de alimentos básicos por município.

Os shapefiles gerados com os dados espacializados por municípios foram importados no software FillCell a fim de se obter a média dos valores dos municípios em grades de 5 x 5 km. Essas grades foram geradas anteriormente no software QGIS, permitindo um melhor detalhamento dos dados que a nível de município.

O indicador “Percentual de áreas rurais povoadas” passou por um tratamento no QGIS antes de ser incorporado à grade. Os shapefiles baixados contendo a contagem de pontos em áreas visitadas e setores censitários do setor agropecuário do IBGE (selecionando-se apenas os setores rurais (5, 6 e 7)), da região da bacia, foram convertidos para raster pelo v.to.raster do software GRASS no QGIS. Os dois rasters

foram unidos utilizando a calculadora raster do QGIS com o propósito de gerar outro raster com valores 1 para áreas rurais e 0 para as demais. Posteriormente foi utilizada a ferramenta de estatísticas zonais para obter a Contagem e Soma das áreas rurais povoadas em cada grade e depois calculada a razão entre os dois resultados, multiplicada por 100 para obter o percentual.

O indicador “Percentual de desmatamento do PRODES” foi obtido pelo dado do PRODES com desmatamento acumulado até 2016, enquanto o dado “Percentual de Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral” foi extraído do Ministério do Meio Ambiente no ano de 2021. A área foi recortada e interseccionada no QGIS com a grade de 5 x 5 km. O shapefile foi dissolvido e o valor dividido pela área total da grade, multiplicado por 100 para obter o percentual.

O processo do indicador “Percentual de áreas alta e muito alta erodibilidade e fase erodida”, proveniente do mapa de erodibilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil (EMBRAPA, 2020), é parecido com o anterior. Primeiramente, os dados passaram por uma triagem de classes após o download do shapefile e exportação para o QGIS. As classes escolhidas foram fase erodida, muito alta e alta, enquanto as outras foram desconsideradas. A região também foi cortada e interseccionada no QGIS com a camada de 5 x 5 km. O shapefile foi dissolvido e, assim, foi dividido o valor pela área total da grade e multiplicado por 100 para obter o percentual.

No caso do indicador “Quantidade de focos de calor” (focos acumulados de 2000-2017), foi utilizada a ferramenta “Contagem de pontos em polígonos” do QGIS, para obter a quantidade de focos em cada grade.

Para o indicador “Média do índice de aridez” e “Média da declividade” houve o download de arquivo raster da região e a utilização de estatísticas zonais para calcular a média do índice de aridez em cada a grade.

O indicador “Percentual de Expansão Agropecuária” foi gerado a partir de rasters de uso e cobertura da terra da região de estudo dos anos de 2000 e 2017. Selecionou-se apenas as classes de áreas agropecuárias pela calculadora raster do QGIS, gerando apenas um raster de cada ano para utilizar as estatísticas zonais, a fim de extrair

a soma de pixels de agropecuária com cada raster. Logo após, a fórmula “área do pixel” multiplicada pela “coluna Sum” e dividida por 10000 foi aplicada para cada arquivo para obter a área agropecuária de cada ano. Este processo anterior foi necessário para obter a expansão agropecuária, seguindo a fórmula abaixo.

$$Exp_{Agrp} = ((\text{Área 2017} - \text{Área 2000})/\text{Área 2000}) * 100$$

Por último, o raster correspondente ao indicador “Percentual de Pastagem Degradada” para a região estudada foi utilizado para obter a Contagem e Soma dos pixels, e posteriormente a razão entre os dois resultados. Por fim, tudo foi multiplicado por 100 para obter o percentual de pastagem degradada em cada grade.

### 2.3.3. Correlação, exclusão de indicadores e normalização

Com todos os indicadores prontos, foi calculada a correlação para verificar possíveis indicadores com alta correlação que pudessem ser excluídos. A tabela com todos os dados foi exportada do QGIS para o programa RStudio, calculando a correlação de Spearman com significância e geração de um correlograma (Figura 2). Para estas etapas foram utilizados os pacotes Hmisc, corrplot xlsx e rcorr do RStudio.

Os indicadores que obtiveram maior correlação do mesmo componente FPEIR foram: Média da declividade x Média do índice de aridez (0,49), Quantidade produzida de lenha (m<sup>3</sup>) x Percentual dos estabelecimentos que utilizam agrotóxicos (0,90), Percentual de desmatamento do PRODES x Quantidade de focos de calor (0,57). Após discussão e revisão de literatura, e considerando apenas os indicadores com correlação maior que 0,6, o grupo decidiu excluir apenas o indicador Percentual dos estabelecimentos que utilizam agrotóxicos, pois a extração de lenha é bem mais expressiva na região da Caatinga.

Assim, os 17 indicadores selecionados foram normalizados (0 a 1) e excluídos os outliers a partir de uma planilha previamente estruturada no Google Sheets, mantendo-se os IDs de cada grade. Os cálculos da planilha foram baseados em um cálculo proposto pela Joint Research Centre-European Commission (2008).

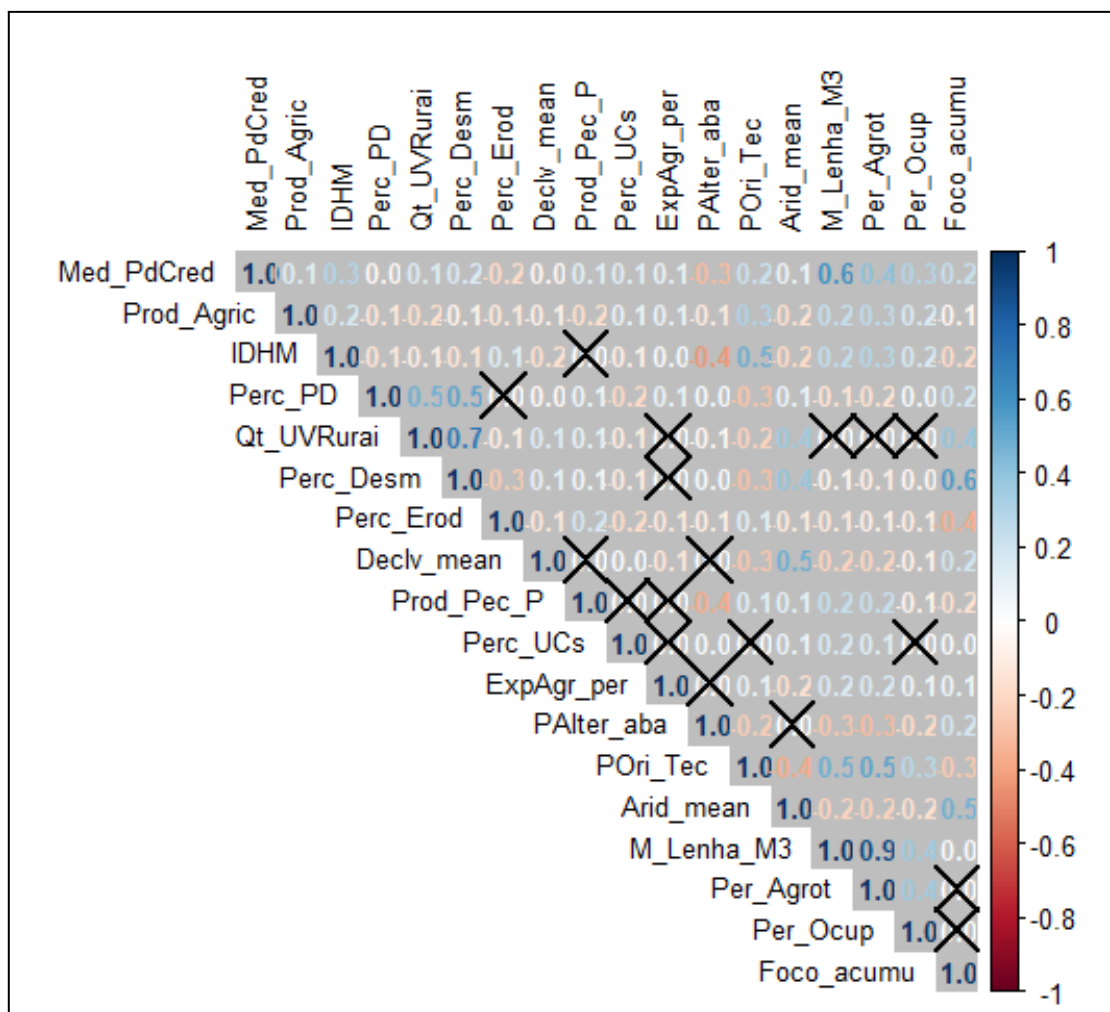


Figura 2. Correlação entre os indicadores estudados. Fonte: própria.

Os indicadores dos componentes Força Motriz, Pressão, Estado e Impacto com sentido inverso à degradação (que contribuem para diminuí-la) foram invertidos para possibilitar a comparação com os demais indicadores. Os indicadores invertidos foram: Média do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, Produtividade do Rebanho, Média do índice de aridez, Média da produtividade agrícola de produtos básicos. Todos os indicadores que integram o componente Resposta não foram invertidos porque a proposta é evidenciar que eles têm potencial para reverter a degradação e também porque estes indicadores foram agrupados em um índice separado dos demais componentes FPEI. Logo após esse processo de normalização, partiu-se para a geração dos índices, agrupando os indicadores de cada componente FPEIR. Para a geração dos índices foi calculada uma mediana entre os indicadores. Os valores dos índices foram normalizados e as tabelas resultantes foram importadas para o QGIS.

As planilhas com índices de cada componente FPEIR foram unidas com as grades e gerados cinco mapas temáticos de cada componente para visualizar os padrões espaciais resultantes.

Para contribuir nas discussões também foi elaborado um mapa de Porcentagem de áreas com pastagem em más condições pela área total do município, elaborado a partir da tabela 6881 do Censo Agropecuário (IBGE, 2017).

### **3. Resultados e Discussões**

Os resultados em forma de 5 índices espacializados (Figuras 3, 4, 5, 6 e 8), resultantes de 17 indicadores, mostram padrões distintos em cada componente, sendo que nos componentes F, P, E e I, as áreas com maior vulnerabilidade à degradação são aquelas próximas ao valor 1, e no caso do componente R, as áreas com maior potencial para reverter a degradação correspondem àquelas com valores mais próximos a 1.

O mapa do índice de Força Motriz (Figura 3) apresenta áreas com maior potencial de degradação em várias regiões da bacia, porém mais preocupantes em Santa Cruz (PE), Santa Filomena (PE), Petrolina (PE), Bodocó (PE), Orocó (PE), Serra Talhada (PE), Flores (PE), Mata Grande (AL), Manari (AL), Tupanatinga (PE) municípios. Foram considerados neste mapa os indicadores: Percentual dos estabelecimentos com produtor ocupante; Média do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal; e Percentual de áreas rurais povoadas.

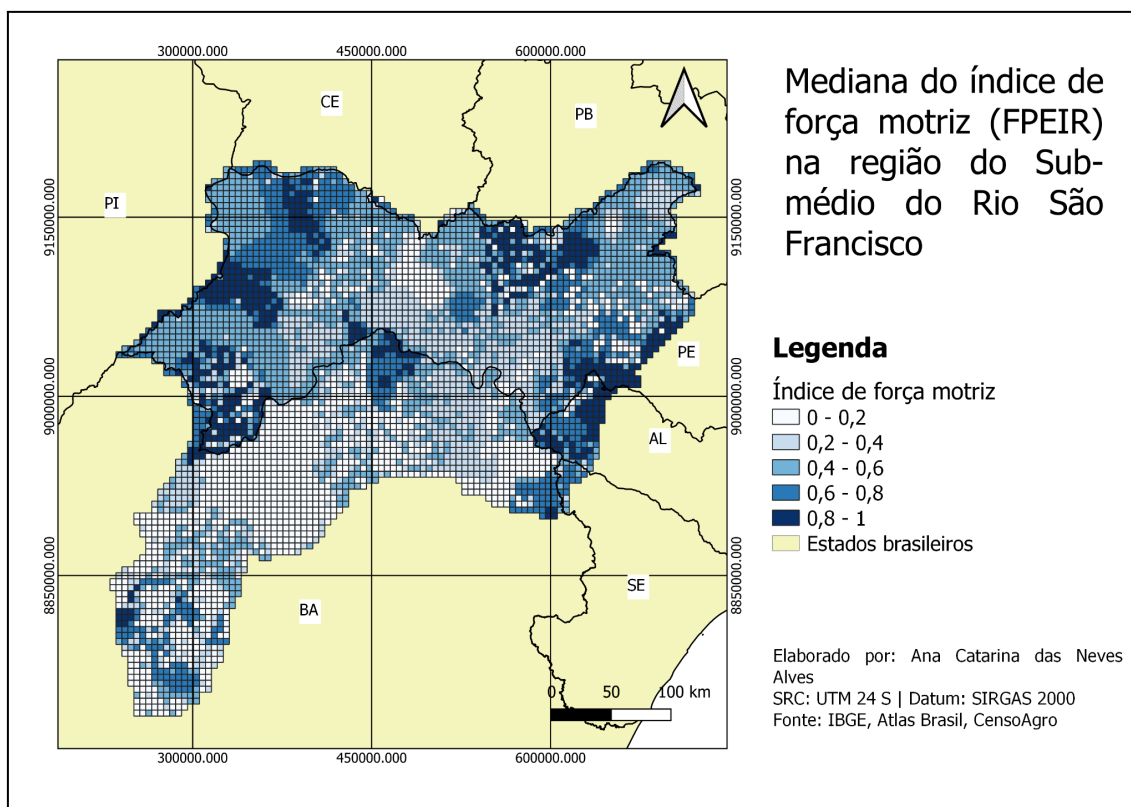


Figura 3. Mapa do índice de Força Motriz. Fonte: própria.

Este fenômeno pode acontecer pelo crescimento populacional desta região em áreas rurais e as condições de vida da população. Vieira et al (2015) consideraram que a população impacta a região através do uso de terra que pode levar a uma maior degradação; sobre o IDHM, Lima et al (2016) citam que os habitantes da região abaixo da linha da pobreza podem não saber manejar corretamente o solo ou não compreender a importância deste recurso inerente à natureza; destaca-se a isso a ausência de programas de assistência técnica rural e educação ambiental. A falta de acesso à terra, representada pelos estabelecimentos com produtor ocupante, também pode contribuir como causa indireta para esse processo de degradação, segundo a FAO (2003).

Sobre o índice de pressão (Figura 4) é possível verificar que a maior parte da bacia está acometida, mostrando áreas mais críticas no oeste e norte da bacia, com valores maiores nos municípios de Petrolina, Santa Maria da Boa Vista e Araripina. Os indicadores escolhidos para gerar este índice foram: Média da quantidade produzida de

lenha (m<sup>3</sup>); Produtividade do rebanho; Quantidade de focos de calor (acumulada); Percentual de desmatamento (acumulado); e Expansão agropecuária (%).

Estes locais são de grande importância econômica para região, visto que Petrolina (PE) tem grande investimento em agricultura irrigada (MANETA et al, 2009), Santa Maria da Boa Vista (PE) situa se na região de influência Petrolina-Juazeiro, e Araripina participando do Polo Gesseiro que extrai a gipsita, um componente importante para produção de gesso (GRANJA et al, 2017).

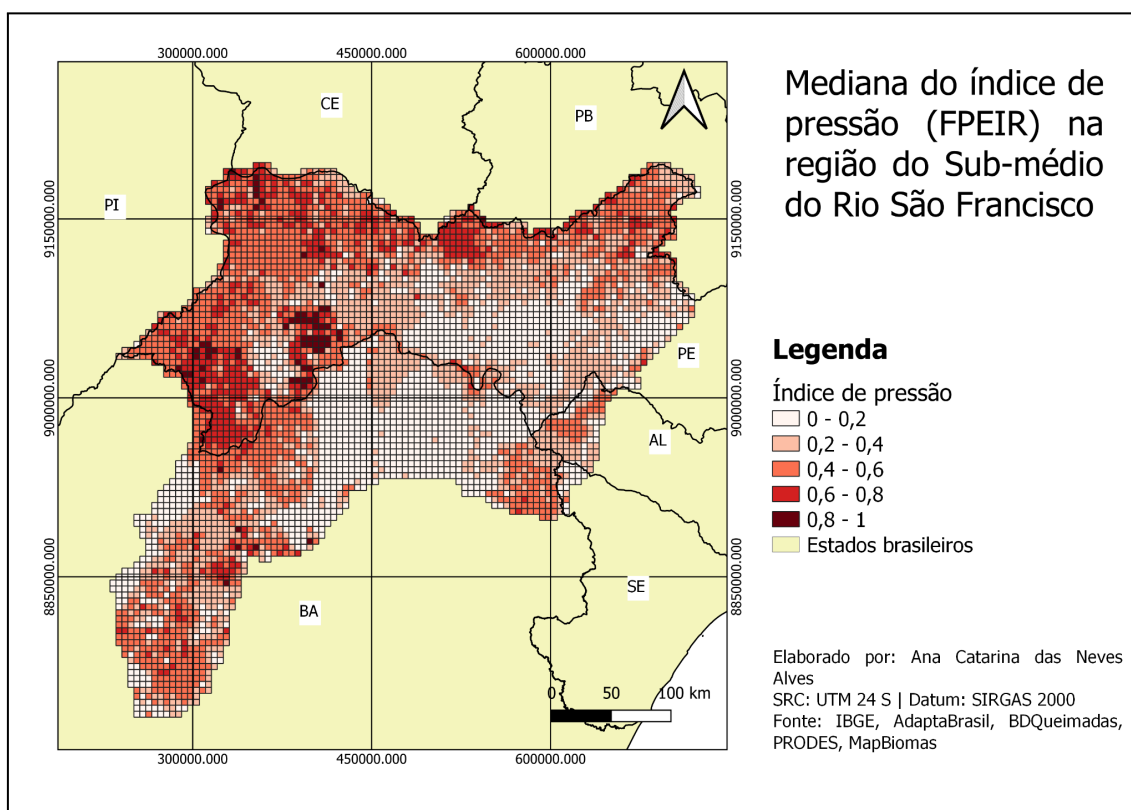


Figura 4. Mapa do índice de Pressão. Fonte: própria.

Apesar do desenvolvimento econômico ser benéfico para a sociedade, as maneiras de chegar a esses resultados podem não colaborar com o meio ambiente. De acordo com Demartelaere et al (2022), o desmatamento causa danos irreversíveis a Caatinga, pois pode levar a desertificação, associado com os incêndios florestais que começam de forma antrópica e prejudicam o solo (LATUF; RIOS; PEREIRA, 2022) e a exploração brasileira de lenha, que não é suficiente para sustentar a indústria gesseira

(GRANJA et al, 2017). Lima et al. (2016) ainda cita o sobrepastoreio, que compacta o solo, perdendo sua atividade biológica.

Petrolina e Juazeiro representam juntos um dos pólos nacionais de agricultura irrigada, sendo o mais desenvolvido do Vale do São Francisco (ANA, 2019). Apesar da importância econômica da agricultura, estudos mostram que o manejo inadequado pode degradar o solo por meio da erosão hídrica e salinização (FAO, 2003; KOSMAS et al., 2014). De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio São Francisco (CBHSF, 2016), a agricultura irrigada é uma das principais causadoras de salinização dos solos e o submédio São Francisco está incluído na classe de alto risco de salinização.

O mapa do índice de Estado (Figura 5) possui grandes regiões mais suscetíveis no centro e sudoeste da bacia, nos municípios de Sobradinho (BA), Juazeiro (BA), Campo Formoso (BA), Curaçá (BA), Abaré (BA), Chorrochó (BA), Rodelas (BA), Belém de São Francisco (PE) e Petrolândia (PE). Os indicadores incluídos neste índice foram: Percentual de áreas alta e muito alta erodibilidade e fase erodida; Média do índice de aridez; e Média da declividade.

A erodibilidade do solo é representada por fatores intrínsecos do solo, como granulometria, profundidade e conteúdo de carbono orgânico (EMBRAPA, 2020). No submédio São Francisco predominam áreas de alta e muito alta erodibilidade, o que atrelado às áreas de maior declividade do terreno predispõe o solo a processos erosivos. Essa suscetibilidade natural associada com atividades humanas impactantes aumentam ainda mais a degradação.

Outra questão a ser levada em consideração é o clima por influenciar a degradação (LOPES; LEAL, 2015), expresso na pesquisa pelo Índice de Aridez, que relaciona a precipitação e a evapotranspiração. A aridez acontece como um ciclo: degradação; alteração no clima local; aridez, que reúne vários aspectos e irá sensibilizar a área; e, novamente, degradação do solo (LOPES; LEAL, 2015).

No trabalho de Bezerra et al. (2020) sobre trajetórias de degradação no semiárido brasileiro é possível verificar que as áreas no centro e sul da bacia possuem



suscetibilidade muito alta a degradação, o mesmo padrão de maior vulnerabilidade à degradação pode ser visualizado no índice de estado (Figura 5).

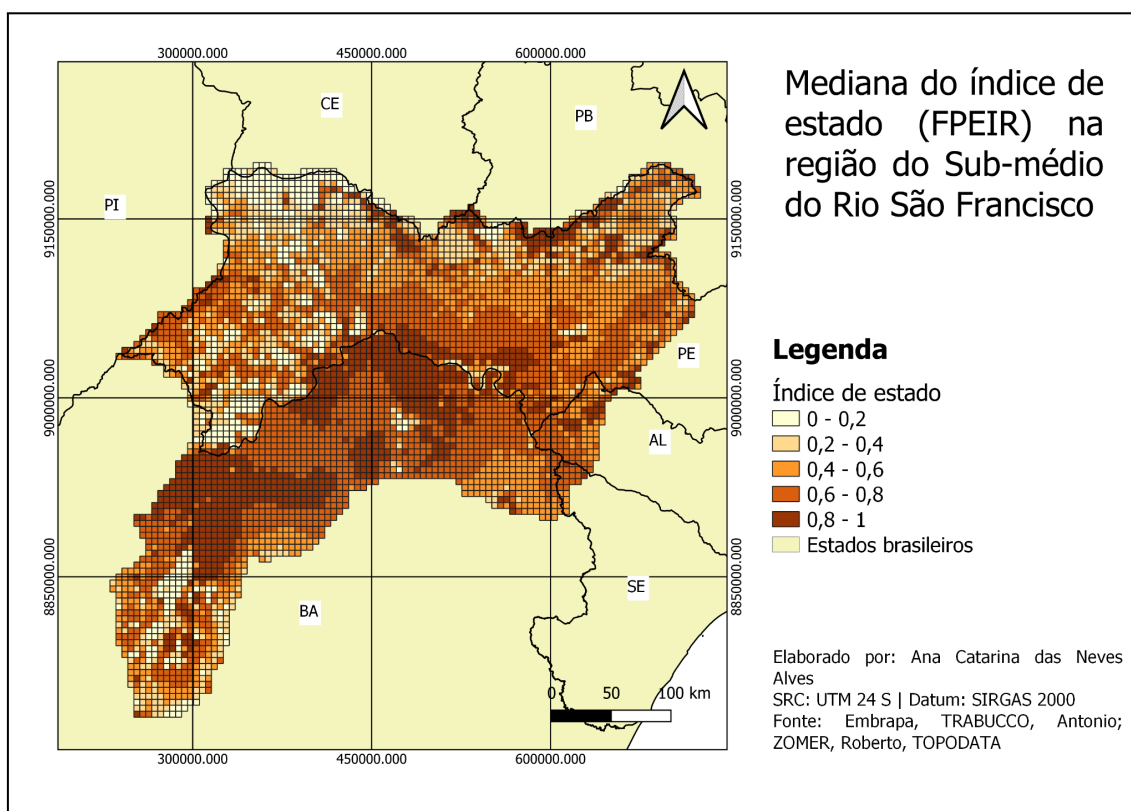


Figura 5. Mapa do índice de Estado. Fonte: própria.

O mapa do índice de Impacto (Figura 6) apresenta os maiores valores nas regiões sudeste e noroeste da bacia, se distribuindo entre municípios do Pernambuco (Afrânio, Dormentes, Orocó, entre outros), Bahia (Chorrochó, Abaré, Macururé) e Alagoas (Água Branca, Delmiro Gouveia, Pariconha). Foram considerados dois indicadores para compor este índice, a Média da produtividade agrícola de produtos básicos e Pastagens degradadas (%).

O índice de impacto representa as mudanças sociais e econômicas provocadas pelas mudanças no estado do ambiente (EEA, 1999). A degradação da terra leva a perda da produtividade biológica e econômica da terra (UNCCD, 2017), dessa forma também é importante verificar a perda de produtividade na produção de produtos básicos para a alimentação de quem vive na bacia, como arroz, feijão, milho, mandioca e trigo.

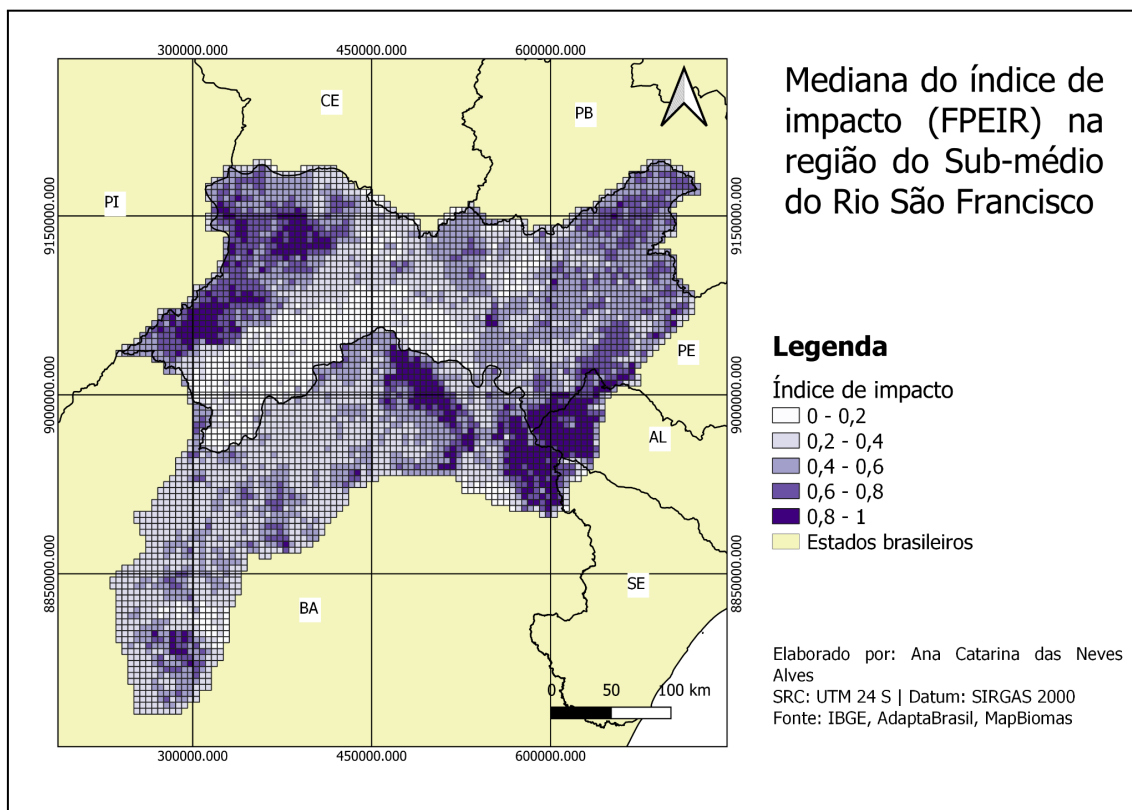


Figura 6. Mapa do índice de Impacto. Fonte: própria.

A pastagem degradada foi considerada como componente FPEIR Impacto porque a sua degradação afeta a utilização para pecuária. O mesmo padrão no noroeste, extremo sudoeste e centro da bacia pode ser verificado no mapa abaixo (Figura 7) que mostra a porcentagem de áreas com pastagem em más condições em relação a área total do município (IBGE, 2017).

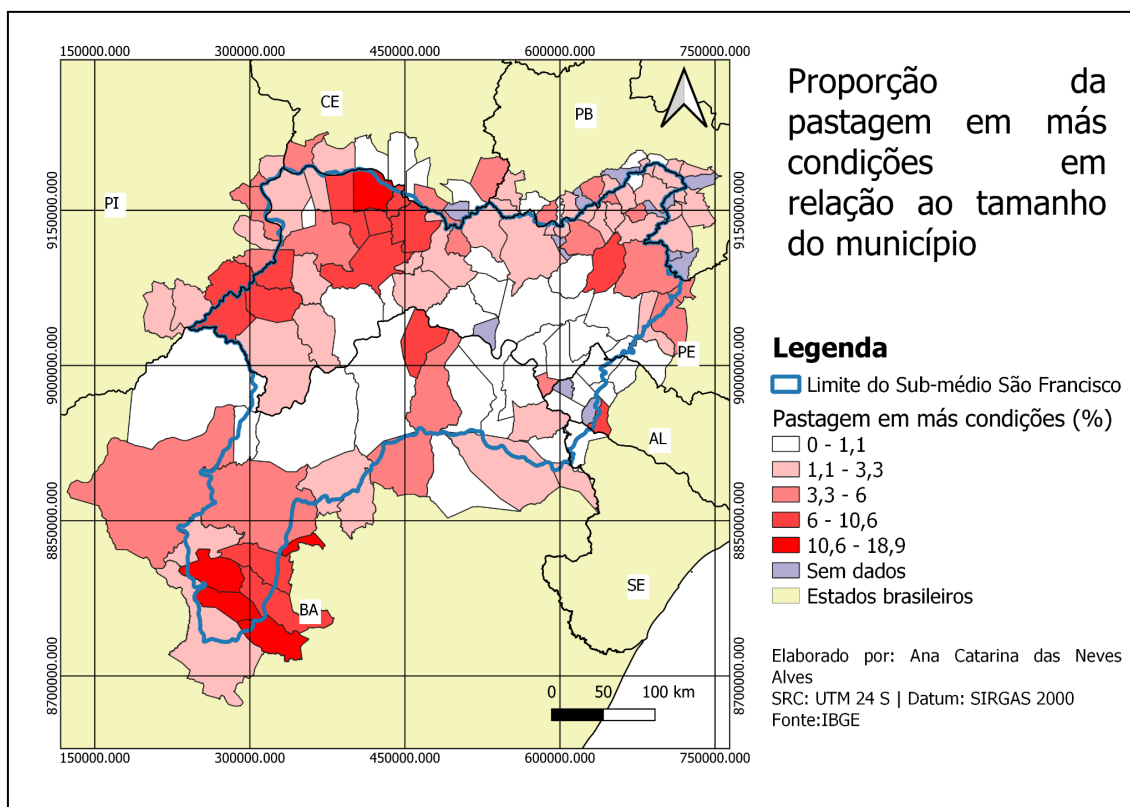


Figura 7. Mapa de pastagem degradada. Fonte: baseado em IBGE (2017).

O mapa do índice de Resposta (Figura 8), concentra os maiores valores, com maior potencial de reverter a degradação, no leste e noroeste da bacia. No mapa é possível verificar municípios como Petrolina (PE), Juazeiro (BA) e Araripina (PE), já mencionados anteriormente, com maior potencial para combater a degradação.

Este índice aponta quais ações podem reverter a degradação, principalmente com políticas públicas. Foram consideradas as tecnologias de acesso à água, acesso a programas de crédito, orientação técnica e a presença de UCs de proteção integral. Os municípios, apesar de receberem grandes investimentos para seu desenvolvimento econômico, podem estimular políticas para preservar o meio ambiente.

No trabalho de Lima et al. (2016) também são levados em consideração os indicadores mencionados. Curiosamente, existem locais com políticas consideradas no índice de Resposta que não apresentam grandes resultados no índice de Impacto. Isto pode sugerir que o efeito pode ter êxito a curto prazo contra a degradação.

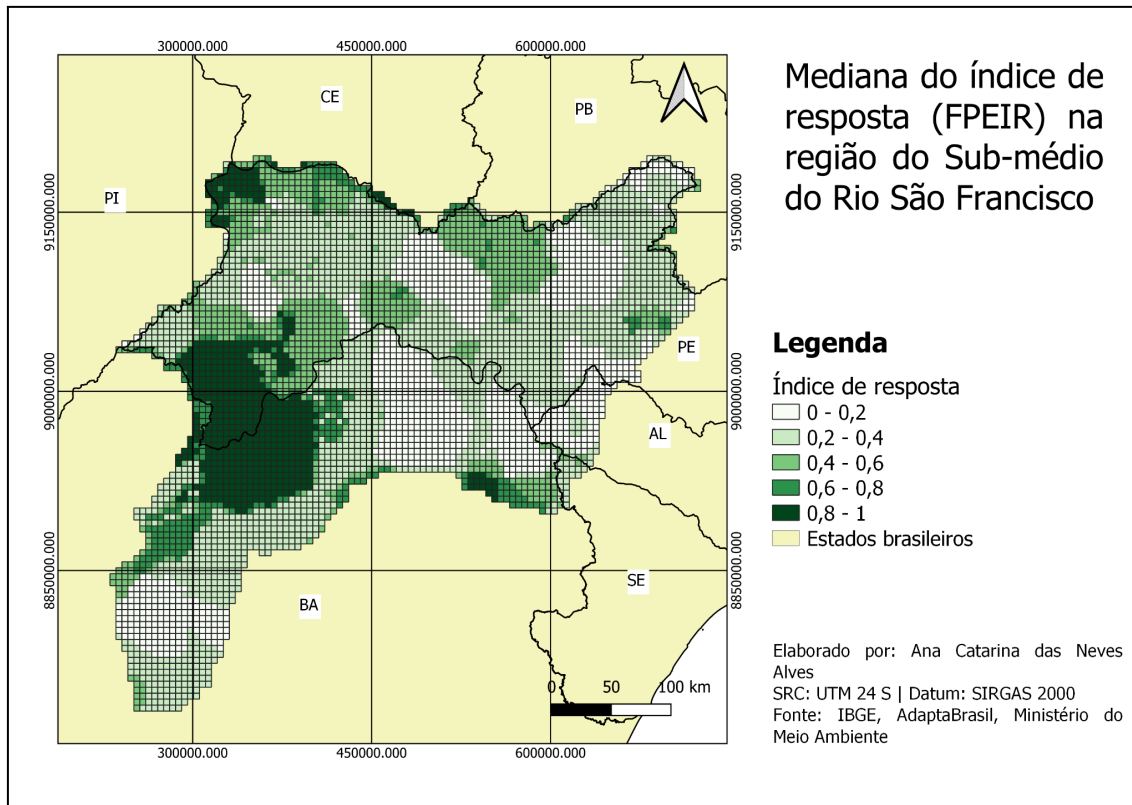


Figura 8. Mapa do índice de Resposta. Fonte: própria.

É importante ressaltar que existem técnicas, as quais não puderam ser quantificadas, sendo aplicadas na região como a agroecologia e recaatingamento. Trabalhos como Didolanvi et al. (2018) e França et al. (2018) mostram o impacto positivo da utilização do modelo de agricultura baseado na agroecologia, sendo uma boa alternativa de combate à degradação.

#### 4. Conclusões

A abordagem FPEIR permitiu entender a degradação da terra como um processo composto por relações socioambientais que interagem. O uso de indicadores permitiu a mensuração da degradação de uma maneira sintética e de fácil compreensão. Os mapas mostraram como essa degradação se distribui no espaço, além da identificação de padrões em regiões da bacia.

As condições de vida da população e a ocupação em áreas rurais, atreladas às mudanças de uso e cobertura da terra e atividades que alteram as condições do ambiente como queimadas e desmatamento, geram consequências para o meio físico, como a erosão do solo e mudanças nos padrões climáticos, além de impactar a saúde dos ecossistemas. As consequências dessas alterações no ambiente também impactam a sociedade e a economia, diminuindo a produtividade agropecuária e impedindo que a população, sobretudo rural, consiga se manter na região afetada.

Algumas políticas públicas podem contribuir para reduzir a situação da degradação na bacia, como o nível de orientação técnica dada aos produtores rurais, diferentes formas de abastecimento de água e a presença de unidades de conservação, embora também seja importante as iniciativas particulares de restauração ambiental e melhoria da qualidade ambiental para reverter esse processo.

### **Referências Bibliográficas**

- ACCIOLY, Luciano J. O. Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil. **Embrapa Solos-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2010.
- AGYEMANG, Isaac; MCDONALD, Adrian; CARVER, Steve. Application of the DPSIR framework to environmental degradation assessment in northern Ghana. In: **Natural Resources Forum**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2007. p. 212-225.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Polos nacionais de agricultura irrigada: mapeamento de áreas irrigadas com imagens de satélite**. Brasília: ANA, 2019.
- \_\_\_\_\_. **Evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2002. 64p.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- ARAÚJO, Paulo de. **Biomass**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2014. Disponível em <https://antigo.mma.gov.br/biomass.html>. Acesso em 29 de mar de 2022.
- BEZERRA, Francisco Gilney Silva et al. Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106579, 2020.
- BURKHARD, Benjamin; MÜLLER, Felix. Drivers-Pressure-State-Impact-Response. In: **Ecological Indicators**, 2007.
- CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. CGEE: Brasília, 2016.

CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025**. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Alagoas, 2016.

CONTI, José Bueno. O conceito de desertificação. **CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 3, n. 2, 2008.

COUTINHO, Leopoldo. **Biomass brasileiros**. Oficina de Textos, 2016.

COWIE, Annette L. et al. Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. **Environmental Science & Policy**, v. 79, p. 25-35, 2018.

DEMARTELAERE, Andrea Celina Ferreira et al. Revisão bibliográfica: impactos em áreas nativas da caatinga causadas pelas atividades econômicas e as técnicas de reflorestamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 25285-25306, 2022.

DIDOLANVI, Olorouchola David et al. Efeito de diferentes doses de adubação orgânica no desenvolvimento da couve-manteiga no Vale do Submédio São Francisco. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

EEA - European Environment Agency. **Environmental indicators: Typology and overview**. Technical Report nº 25. Copenhagen, 1999.

EMBRAPA. Vetor compactado - Mapa de erodibilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil (Primeira aproximação). **Informações**. 2020. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/documents/2924>. Acesso em: 14 jan. 2022.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Data sets, indicators, and methods to assess land degradation in drylands: report of the LADA e-mail conference, 9 October - 4 November**. Rome, 2003.

\_\_\_\_\_. **The state of food and agriculture**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1994.

FRANÇA, Kaique da Silva et al. Desenvolvimento da berinjela submetida a diferentes formas de adubação orgânica no Vale do Submédio São Francisco. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

GRANJA, C. V. A. et al. Degradação Ambiental: Exploração de Gipsita no Polo Gesseiro do Araripe. **Id On Line Revista de Psicologia**, v. 11, n. 36, p. 239-267, 2017.

GESSESEW, Weldemariam Seifu. Application of DPSIR framework for assessment of land degradation: a review. **Forest**, v. 3, n. 1, p. 4-000, 2017.

IBGE. **Brasil em síntese**. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 29 jul. 2021

\_\_\_\_\_. **Censo agropecuário**. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 11 set. 2021.

JOINT RESEARCH CENTRE-EUROPEAN COMMISSION, et al. **Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide**. OECD publishing, 2008.

KOSMAS, Christos et al. Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring: methodological approach. **Environmental management**, v. 54, n. 5, p. 951-970, 2014.

LATUF, Marcelo de O.; RIOS, Guilherme da S.; PEREIRA, Raiane Cristina. Análise multitemporal de incêndios florestais ocorridos no Estado de Minas Gerais entre 2001 e 2020. **Revista Cerrados**, v. 20, n. 01, p. 120-148, 2022.

LEAL, Inara R., et al. Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 701-706, 2005.

LIMA, R. da C. C.; CURTI, W. F.; SANTOS, A. P. S. do; COSTA, T. S. P. da S. Sistema de avaliação espacial do processo de desertificação no Semiárido brasileiro. **Gaia Scientia**. 2016.

LOPES, I.; LEAL, B. G. índice de aridez e tendência a desertificação para estações meteorológicas nos estados da bahia e pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 17, dez. 2015. ISSN 2237-8642. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42413/27315>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

MANETA, M. P. et al. Water demand and flows in the São Francisco River Basin (Brazil) with increased irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 8, p. 1191-1200, 2009.

PORTA, J.; POCH, R. M. DPSIR analysis of land and soil degradation in response to changes in land use. **Spanish Journal Soil Science**, v. 1, p. 100-115, 2011.

RUBIO, José Luis; BOCHET, E. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. **Journal of Arid Environments**, v. 39, n. 2, p. 113-120, 1998.

SOMMERKORN, M.; CORNELL, S; NILSSON, A. E.; WILKINSON, C.; ROBARDS, M.; VLASOVA, T.; QUINLAN, A. **A resilience approach to social ecological systems: Central concepts and concerns**. In: Arctic Resilience Interim Report. Stockholm University: Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre, 2013.

TABARELLI, Marcelo et al . Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Cienc. Cult.**, São Paulo , v. 70, n. 4, p. 25-29, Oct. 2018 .

Available from

<[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252018000400009&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252018000400009&lng=en&nrm=iso)>. access on 29 Mar. 2022.

TRABUCCO, Antonio; ZOMER, Robert J. Global aridity index and potential evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) climate database v2. **CGIAR Consort Spat Inf**, v. 10, p. m9, 2018.

TUCCI, Carlos E. M. . **Hidrologia: ciência e aplicação** 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

UNCCD. **Good Practice Guidance**. SDG Indicator 15.3.1. 2017. Disponível em: <[https://www.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-10/Good%20Practice%20Guidance\\_SDG%20Indicator%2015.3.1\\_Version%201.0.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-10/Good%20Practice%20Guidance_SDG%20Indicator%2015.3.1_Version%201.0.pdf)>. Acesso em: abr. 2020.

\_\_\_\_\_. Intergovernmental Negotiating Committee for the elaboration of an International Convention to Combat Desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. **General Assembly**. 1994. Disponível em: [https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/unccd\\_eng.pdf](https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/unccd_eng.pdf). Acesso em: 6 jul. 2021.

URBAN SYSTEM. **Estudo traz Juazeiro (BA) e Petrolina (PE) como destaques no agronegócio em 2020**. Disponível em: <https://blog.urbansystems.com.br/estudo-traz-juazeiro-ba-e-petrolina-pe-como-destaque-s-no-agronegocio-em-2020/>. Acesso em: 11 ago 2022.

VANDERLEI, Daniela Rocha; DE QUADROS, Cedenir Pereira; DE SÁ, Claudileide Silva. Geleia de bagaço de uva e chia proveniente da produção vinícola da região do submédio São Francisco. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 4237-4248, 2020.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A.; BARBOSA, A. A.; CUNHA, A. P. M. A.; VALLES, G. F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S. B. P.; SOUZA, M. S. B.; CALIL, P. M.; CARVALHO, M. A.; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast, **Solid Earth**, v. 6, n. 1, p. 347-360, 2015.

WARHURST, A. **Sustainability Indicators and Sustainability Performance Management**. Mining, Minerals and Sustainable Development, Vol. 43, International Institute for Environment and Development World Business Council for Sustainable Development, Geneva, 2002.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Púb.**, v.27, n.2, p.5-18, 1993.