



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Geórgia Silva Franco

**IMPACTOS AMBIENTAIS NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DAS
USINAS HIDRELÉTRICAS DE SANTO ANTÔNIO E JIRAU, NO
ESTADO DE RONDÔNIA.**

Brasília-DF, 07 de julho de 2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**IMPACTOS AMBIENTAIS NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DAS
USINAS HIDRELÉTRICAS DE SANTO ANTÔNIO E JIRAU, NO
ESTADO DE RONDÔNIA.**

Geórgia Silva Franco

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli
Matricardi

Brasília-DF, 07 de julho de 2017

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

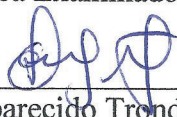
Impactos ambientais nas áreas de influência das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, no estado de Rondônia

Geórgia Silva Franco

Matrícula: 10/0102719

Menção: SS

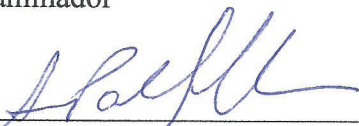
Aprovada pela Banca Examinadora:



Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi – EFL/UnB
Orientador



Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira – EFL/UnB
Examinador



MSc. Ana Paula Silva Camelo – IBRAM
Examinadora

Brasília – DF, 07 julho de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que sempre me apoiou ao longo da minha caminhada. Meus irmãos, Giuliana e Júlio Guilherme. Ao meu pai, Valtrudes e minha mãe Maria de Fátima, sem vocês eu nada seria!

Ao amor da minha vida, Benjamim, motivo pelo qual me faz querer ser melhor todos os dias. Eu te amo, meu filho!

Aos amigos que fiz estagiando no IBAMA, Frederico Queiroga, obrigada pela oportunidade e gratidão por todos os aprendizados e boas conversas; Alex Portes pelo conhecimento compartilhado do qual nunca vou me esquecer. Aos demais colegas, muito obrigada!

Ao meu companheiro, Guilherme Mentzingen pelo amor e equilíbrio que fizeram toda diferença.

Aos meus amigos da graduação, obrigada por todos os momentos que compartilhamos juntos, todas as dificuldades e experiências. Vocês são incríveis!

A minha segunda família, CECSE, pelo amor incondicional do qual encontro suporte e boas risadas. Amo vocês!

Ao meu orientador, Eraldo Matricardi por ser uma pessoa incrível e por ter os melhores conselhos e abraços. Agradeço muito pela oportunidade de compartilhar esse sonho com você.

Agradeço imensamente a Universidade de Brasília e o Departamento de Engenharia Florestal por todos os aprendizados e experiências adquiridos nesse caminho. A jornada não foi fácil, mas agradeço pelo conhecimento e amadurecimento que obtive em minha graduação.

Á todos o meu muito obrigada!

RESUMO

A bacia Amazônica é considerada de extrema importância no aspecto de geração de energia, abrangendo quase 50% do território brasileiro, com grande potencial para geração de energia hidrelétrica, devido às grandes quantidades de água e variação de relevos observados na região. A base principal do sistema de geração de energia elétrica brasileiro é composta por Usinas Hidrelétricas (UHE), responsáveis por mais de 67% da geração de energia elétrica no país. A construção de UHE, entretanto, envolve a construção de grandes reservatórios de água, responsáveis por grandes impactos ambientais. No presente estudo, foram avaliados os impactos na vegetação nativa causados pela implantação das Usinas Hidrelétricas (UHE) Santo Antônio e Jirau no rio Madeira, estado de Rondônia. Dados dos satélites da série Landsat e técnicas de sensoriamento remoto foram utilizados para a avaliação dos impactos decorrentes da implantação das UHE do rio Madeira entre 2011 e 2016, correspondentes ao ano antes da conclusão da construção e a situação atual, após o fechamento pleno dos reservatórios, respectivamente. Como resultado da análise realizada, a classificação do uso e cobertura da terra alcançou 91% de acurácia global na área de estudo. Os resultados indicaram que os impactos ambientais resultantes do represamento de águas pelas UHE de Santo Antônio e Jirau foram além dos limites previstos pelos Estudos Ambientais. Em alguns casos, os impactos da água ou elevação do lençol freático atingiram o interior de áreas protegidas e limites internacionais na Bolívia. Tais impactos devem ser melhor monitorados para sua mitigação. Esta pesquisa contribuiu para o melhor entendimento e possíveis tomadas de decisão e medidas para a redução de impactos ambientais causados pela instalação das mega UHE's no rio Madeira.

ABSTRACT

The Amazon basin is considered of extreme importance in the energy generation aspect, covering almost 50% of the Brazilian territory, with great potential for hydropower generation, due to the large amounts of water and variation of reliefs observed in the region. The main base of the Brazilian electric power generation system is composed by Hydropower Plants (UHE), responsible for more than 67% of the country's electricity generation. The construction of HPP, however, involves the construction of large reservoirs of water, responsible for large environmental impacts. In the present study, the impacts on the native vegetation caused by the implantation of the Santo Antônio and Jirau Hydroelectric Power Plants (HPP) in the Madeira River, Rondônia state, were evaluated. Data from Landsat series satellites and remote sensing techniques were used to evaluate the impacts of the implantation of the Madeira River HPP between 2011 and 2016, corresponding to the year before the construction was completed and the current situation, after the full closure of the reservoirs, respectively. As a result of the analysis carried out, the classification of land use and land cover reached 91% of global accuracy in the study area. The results indicated that the environmental impacts resulting from the impoundment of water by the Santo Antônio and Jirau HPP were beyond the limits predicted by the Environmental Studies. In some cases, water impacts or groundwater elevation have reached inside protected areas and international boundaries in Bolivia. Such impacts should be better monitored for mitigation. This research contributed to the better understanding and possible decision-making and measures for the reduction of environmental impacts caused by the installation of mega UHE's on the Madeira River.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DO ESTUDO	11
3. OBJETIVOS.....	12
3.1. OBJETIVO GERAL	12
3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	12
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4.1. PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL.....	12
4.2. POTENCIAL ENERGÉTICO BRASILEIRO.....	15
4.3. POTENCIAL ENERGÉTICO DA REGIÃO AMAZÔNICA.....	18
4.4. CONSTRUÇÃO UHE SANTO ANTÔNIO E JIRAU.....	20
4.5. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E O PROCESSO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....	22
4.6. CHEIA DO RIO MADEIRA NO ANO DE 2014	23
4.7. SATÉLITE LANDSAT E SENSORES TM E OLI/TIRS	24
5. MATERIAL E MÉTODOS	25
5.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
5.2. BASE DE DADOS	26
5.3. PRÉ- PROCESSAMENTO	28
5.4. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	29
5.5. BASE DE DADOS ADICIONAIS.....	32
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
8. CONCLUSÃO	48
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Empreendimentos em construção e construção não iniciada	15
Tabela 2. Fontes utilizadas no Brasil – empreendimentos em fase de operação.....	16
Tabela 3. Países Produtores de Energia Hidrelétrica.....	17
Tabela 4. Comparativo de energia Hidrelétrica no consumo doméstico	18
Tabela 5. Bacia do Amazonas, restrições ambientais ao potencial hidrelétrico a aproveitar por sub-bacia (MW)	19
Tabela 6. UHE's na região amazônica – Áreas de Reservatório X Potência.	21
Tabela 7: Comparação cheia de 2014 com cheia de anos anteriores observadas no rio Madeira, em Porto Velho-RO.....	23
Tabela 8: Imagens LANDSAT 5 (TM) e LANDSAT 8 (OLI) utilizadas em estudo.....	27
Tabela 9: Classes de uso e cobertura do solo.	30
Tabela 10: Composição colorida RGB 5/4/3 para LANDSAT 5 e LANDSAT 8.....	31
Tabela 11: Matriz de erros ou confusão	33
Tabela 12: Matriz de confusão final com inclusão das acurácias do usuário (Au) e acurácia do Produtor (Ap).	34
Tabela 13: Classificação do índice <i>Kappa</i> segundo Fonseca (2010)	36
Tabela 14: Resultados da Matriz de Confusão	37
A partir dos resultados da classificação do uso e cobertura da terra em 2011, observou- se que o as florestas e regeneração secundária predominavam (72,9%) da paisagem, ocupando 72,9% e 15,65 da área de estudo, respectivamente. Os campos, alagados e paliteiros ocupavam outros 3,5% da região estudada (Tabela 16). Tabela 16: Áreas de uso e cobertura no ano de 2011 (Km ²).	40
Tabela 17: Áreas de uso e cobertura no ano de 2016 (Km ²).	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Oferta Mundial de energia primária nos anos de 1971 a 2013 por combustível Fonte: IEA, 2015.	13
Figura 2. Oferta mundial de energia primaria por região. Fonte: IEA (2015)	14
Figura 3. Consumo de energia elétrica per capita no mundo. Fonte: BP (2008) ou ANEEL (2016).	15
Figura 4. Consumo dos diferentes setores mundiais de eletricidade. Fonte: <i>Key World Energy Statistics</i> (2015).	15
Figura 5: Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte.....	17
Figura 6: Cheias excepcionais do Rio Madeira em Porto Velho sobre o período de 1966- 2014. Fonte: VAUCHEL (2014).	23
Figura 7: Nível da água na Cheia de 2014 atingindo copas de árvores. Foto: Luiz Cláudio Fernandes	24
Figura 8. Localização da área de estudo (UHEs de Santo Antônio e Jirau no rio Madeira) no Estado de Rondônia.	25

Figura 9: Imagens LANDSAT 5 e LANDSAT 8 para os anos 2011 e 2016 respectivamente, em composição colorida RGB Vermelho/Infravermelho próximo/Infravermelho médio.....	27
Figura 10: Área de estudo, incluindo um buffer de 30 km no entorno dos limites rio Madeira no trecho entre Calama e Nova Mamoré, antes do preenchimento dos reservatórios das UHE de Santo Antônio e Jirau, no estado de Rondônia.	29
Figura 11: Áreas recém-alagadas e Paliteiros (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016).	38
Figura 12: Uso e cobertura de terra na área de estudo em 2011 antes do fechamento dos reservatórios das UHE Santo Antônio e Jirau no rio Madeira, Rondônia.	39
Figura 13: Uso e cobertura de terra na área de estudo em 2016 após o fechamento dos reservatórios das UHE Santo Antônio e Jirau no rio Madeira, Rondônia.	39
Figura 14: Áreas de Paliteiros (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016)	41
Figura 15: Área de Paliteiro (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016).	42
Figura 16: Área de Paliteiros mais distantes do remanso (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016).....	42
Figura 17: Diferença nas áreas classificadas como paliteiros neste estudo com as áreas fornecidas pelo empreendimento.	43
Figura 18: Área de paliteiros afetando ambientalmente o território boliviano.....	44
Figura 19: Aumento da área desmatada em hectare em Santo Antônio, Jirau e Jusante do rio Madeira.	45
Figura 20: Aumento da área de paliteiros em hectare nos reservatórios de Santo Antônio, Jirau e a Jusante do rio Madeira.	46
Figura 21: Área de paliteiros (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016).	47

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa quase metade da América do Sul sendo o país com a maior diversidade de espécies da fauna e flora no mundo, distribuídas nos seis biomas terrestres e nos três grandes ecossistemas marinhos (MMA, 2016). O bioma mais representativo no Brasil é o amazônico, possuindo um território de 4.196. 943 milhões de km², cerca de 49,29% do território brasileiro (IBGE, 2004).

O bioma Amazônico está inserido na maior bacia hidrográfica do mundo (Amazônica), cobrindo cerca de 6 milhões de km² e possuindo aproximadamente 1.100 afluentes (MMA, 2016). A bacia Amazônica é considerada de extrema importância no aspecto de geração de energia, pois possui grande potencial para geração de energia hidrelétrica, devido às quantidades enormes de água que passam pela região e as quedas topográficas significativas nos afluentes do Rio Amazonas (FEARNSSIDE, 2015).

Segundo FURNAS (2016), uma usina hidrelétrica pode ser definida como um conjunto de obras e equipamentos cuja finalidade é a geração de energia elétrica, através do potencial hidráulico existente em um rio. O sistema de geração de energia elétrica do Brasil atualmente é composto basicamente por Usinas Hidrelétricas (UHE) e Usina Termelétrica (UTE) que juntas representam mais de 80% do total de empreendimentos em operação (ANEEL, 2014).

A necessidade do aumento de produção de energia elétrica em decorrência do aumento da demanda em todos os setores é um fato conhecido em todo o mundo. Isso indica que em um ambiente de maior crescimento econômico deve se esperar maior crescimento da demanda de energia (TOLMASQUIM, 2007). As UHEs propostas modificam fisicamente a dinâmica do meio necessitando de estudos e levantamentos que caracterizem, diagnostiquem e prognostiquem processos do ambiente e suas intervenções tecnológicas. As informações devem ser cruzadas orientando-se pelas modificações nos seus fatores condicionantes e, por conseguinte, nos seus parâmetros ou indicadores. (Parecer técnico nº 014/2007, COHID/CGENE/DILIC/ IBAMA).

De acordo com o Instituto de Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA,2016), o licenciamento ambiental é uma obrigação legal prévia à instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente, possuindo três etapas distintas: Licenciamento Prévio (LP), Licenciamento de Instalação (LI) e Licenciamento de Operação (LO).

Os Estudos de Impacto Ambientais (EIA), Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) e o Plano Básico Ambiental (PBA) exigido durante as fases de licenciamento, possuem extrema relevância para a preservação do meio ambiente. Entretanto, é comum a imprecisão na realização dos estudos e na formulação de projetos pelos empreendimentos, prejudicando o processo de mitigação dos impactos ambientais de um modo geral. De acordo com o Ministério Público do Estado de Rondônia (PROCESSO Nº 6888-19.2012.4.01.4100), houve alagamento de vasta área de floresta, mortandade de toneladas de peixes, de diversas espécies de animais, desbarrancamento das margens do rio em efeito ao enchimento do reservatório de Santo Antônio. Como consequência, a sequela inevitável da biodiversidade. O exemplo disso, a presença de paliteiros nas áreas de várzeas dos reservatórios.

Paliteiros são árvores mortas oriundas das áreas de florestas inundadas pelo reservatório (DE ALMEIDA CAMPOS, 2011), que não resistindo a essas inundações perenes, essas populações arbóreas acabam morrendo afogadas pela submersão de suas raízes.

Desta forma, no presente estudo, foram avaliados os impactos na vegetação nativa causados pela implantação das Usinas Hidrelétricas (UHE) Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, especialmente aqueles que foram além do previsto pelos Estudos Ambientais dos referidos empreendimentos. Foram utilizados dados dos satélites da série Landsat e técnicas de sensoriamento remoto adquiridos para os anos de 2011 e 2016, correspondentes ao ano antes da conclusão da construção e a situação atual, após do fechamento pleno dos reservatórios, respectivamente. Os resultados deste estudo permitirão o melhor entendimento e subsídios para medidas de mitigação dos impactos ambientais causados além do previsto pelo represamento dos reservatórios das mega UHE do rio Madeira, em Rondônia.

2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DO ESTUDO

A instalação das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, localizadas no trecho do Rio Madeira localizada entre Porto Velho e Guajará-Abunã, em Rondônia, causou vários impactos socioambientais durante e após a sua construção, tais como o surgimento de vegetação morta afogada (paliteiro) nas áreas de várzea. Tais impactos foram previamente simulados ou previstos pelos responsáveis dos empreendimentos e nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) durante as fases do licenciamento. Nessas

fases são também propostas medidas mitigatórias para sua redução e compensação ambiental.

Imprevistos e situações podem ocorrer e escapar das estimativas, a exemplo, à enchente observada em 2014, que registrou a maior vazão rio Madeira, que causou uma das maiores enchentes daquele rio, afetando fortemente áreas no Brasil e na Bolívia (CEPED-UFSC, 2015).

Deste modo, as questões que nortearam a presente pesquisa foram: qual a área de vegetação nativa afetada após o fechamento dos reservatórios das UHE de Santo Antônio e Jirau? Quais os tipos de uso da terra ocuparam a nova paisagem pós-fechamento dos reservatórios? As áreas afetadas pelo enchimento dos reservatórios foram além do previsto pelos Estudos de Impactos Ambientais dos empreendimentos?

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é avaliar os impactos ambientais na área atingida da vegetação como consequência do enchimento dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas Santo Antônio e Jirau, utilizando dados e técnicas de sensoriamento remoto.

3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Quantificar os corpos de água e áreas de paliteiros formadas após o fechamento dos reservatórios das UHE Santo Antônio e Jirau;
- Quantificar os impactos ocorridos na vegetação de várzea e Unidades de Conservação entre 2011 e 2016;;
- Avaliar os impactos ambientais previstos e observados com a implantação das UHE de Santo Antônio e Jirau;

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

As principais fontes energéticas utilizadas no mundo são de fontes primárias não renováveis como: petróleo, carvão mineral e gás natural. Tais padrões de produção e consumo atuais são fundamentados nessas fontes de combustíveis fósseis, sendo as principais contribuintes na emissão de poluentes e gases de efeito estufa, afetando de modo geral a qualidade de vida das populações e o ambiente terrestre.

Segundo Venturo Filho (2009), esta grande utilização de combustíveis fósseis é explicada por quatro aspectos principais destes energéticos:

- Grande disponibilidade de recursos, particularmente do carvão mineral;
- Vantajosa competitividade econômica e ambiental (exceto as emissões de CO₂ e mudanças climáticas) com outras fontes energéticas primárias;
- Favorável viabilidade técnica e econômica do seu transporte, inclusive a longas distâncias (o comércio de energia é um dos maiores do mundo);
- Adequada tecnologia, plenamente desenvolvida, para o seu diversificado aproveitamento energética.

O aumento da oferta de energia primária ao longo dos anos de 1971 a 2013 está relacionado ao incremento de pesquisas aplicadas e melhora na tecnologia para exploração dos diferentes recursos (IEA, 2015). Dados das ofertas mundiais totais de energia primária por combustível e as principais matrizes energéticas são apresentados na Figura 1.

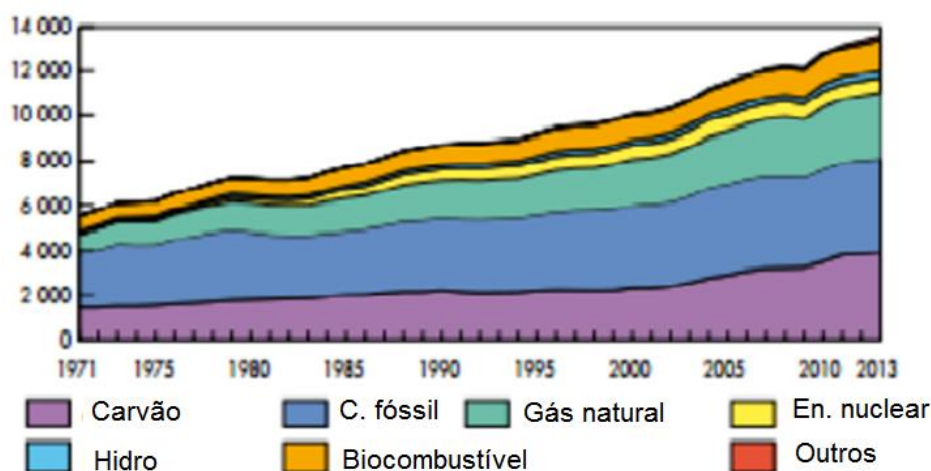


Figura 1. Oferta Mundial de energia primária nos anos de 1971 a 2013 por combustível Fonte: IEA, 2015.

Segundo Bermann (2008), fontes renováveis como: hidráulica, biomassa, solar, eólica, geotérmica, que atualmente respondem por 12,7% da oferta energética mundial, poderá chegar a não mais do que 14% da oferta em 2030.

De acordo com o Ranking Mundial de Energia e Socioeconomia do Ministério de Minas e Energia, o Brasil é o 4º maior produtor de energia renovável no mundo, com a produção de 121 Mtp (Milhões de Toneladas equivalentes de petróleo) de fontes

renováveis em 2012, ficando atrás de China (311 Mtp), Índia (199 Mtp) e Estados Unidos (129 Mtp) (MME, 2014).

Com base nas estatísticas energéticas mundiais (*Key World Energy Statistics*), as principais regiões mundiais que ofertam energia primária são os pertencentes ao bloco OCDE (*Organization for Economic Co-Operation and Development*). Tal bloco é responsável por 39,2% da energia mundial, seguido da República Popular da China com 22,3% e Ásia com 12,2% (Figura 2). Comparando as ofertas energéticas dos anos de 1973 e 2013, observou-se mudança nas regiões, em destaque, a República Popular da China que em 1973 possuiu 7,0% e saltou sua contribuição para 22,3% em 2013, resultado de um o processo de crescente industrialização no país.

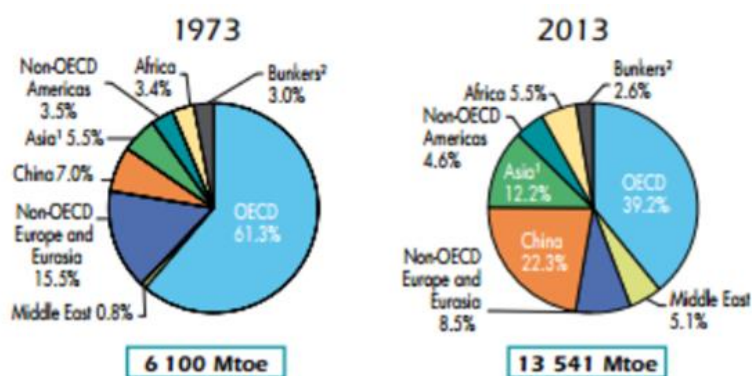


Figura 2. Oferta mundial de energia primária por região. Fonte: IEA (2015)

Os 30 países pertencentes a OCDE são historicamente, os maiores consumidores mundiais de energia (ANEEL,2016). A Figura 3, mostra os diferentes índices de consumo de energia primária mundial nas diferentes regiões do mundo.

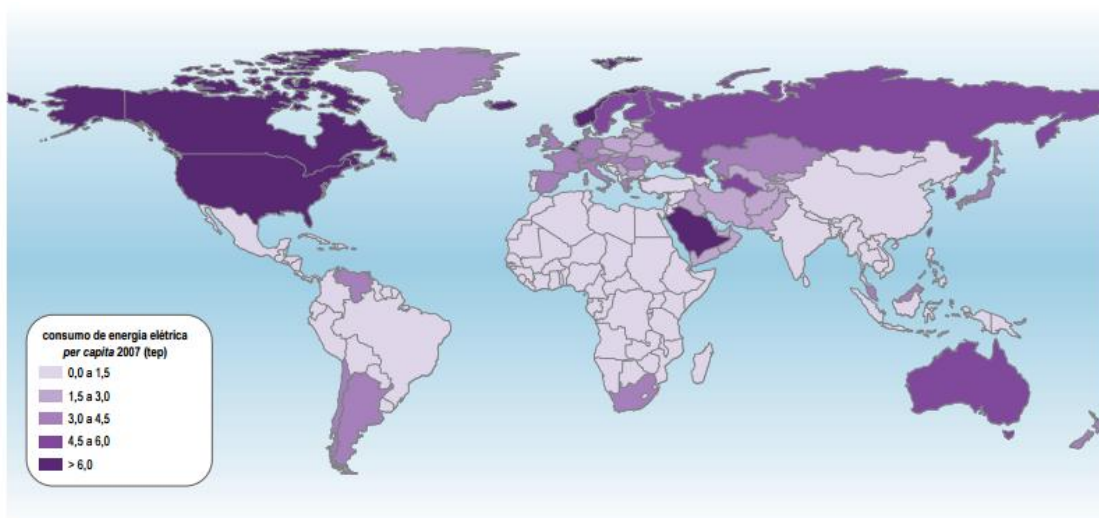


Figura 3. Consumo de energia elétrica per capita no mundo. Fonte: BP (2008) ou ANEEL (2016).

A diferença entre essas regiões está no desenvolvimento econômico e social, refletindo assim o maior consumo de energia. Os diferentes setores de consumo de energias nos países mais desenvolvidos de acordo com as estatísticas energéticas mundiais (Figura 4), comparando os anos de 1973 a 2013, a diminuição na demanda pelas indústrias e aumento de outras demandas de energia indica uma mudança no desenvolvimento tecnológico e industrial do mundo. (*KEY WORLD ENERGY STATISTICS*, 2015).

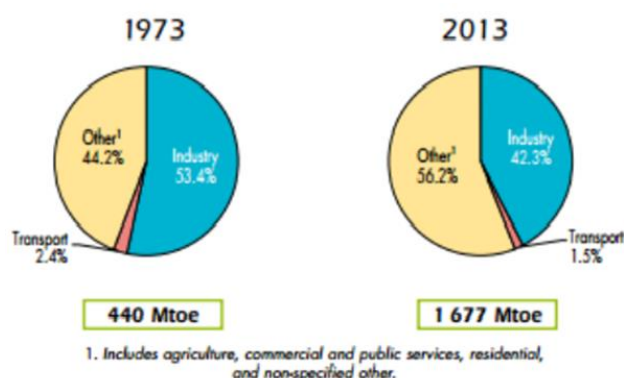


Figura 4. Consumo dos diferentes setores mundiais de eletricidade. Fonte: *Key World Energy Statistics* (2015).

4.2. POTENCIAL ENERGÉTICO BRASILEIRO

O território brasileiro possui em sua totalidade 4.511 empreendimentos em operação, totalizando em 142.876.558 KW de potência instalada, sendo prevista para os próximos anos uma adição de 27.419.991 KW de potência (ANEEL, 2016). Atualmente o país possui 213 empreendimentos em construção e mais 627 empreendimentos em processo de licenciamento ambiental (Tabela 1).

Tabela 1. Empreendimentos em construção e construção não iniciada

Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
CGH	1	848	0
EOL	145	3.371	35
PCH	35	471	5
UHE	8	2.004	21
UTE	23	2.349	25
UTN	1	1.350	14
TOTAL	213	9.547	100

Empreendimentos com Construção não iniciada			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
CGH	40	27.599	0
CGU	1	50	0
EOL	246	5.864.850	33
PCH	125	1.778.756	10
UFV	70	1.966.777	11
UHE	6	629.000	4
UTE	139	7.676.692	43
TOTAL	627	17.949.724	100

Fonte: ANEEL (2016). CGH – Central Geradora Hidrelétrica CGE – Central Geradora Usina, EOL – Eólica PCH- Pequena Central Hidrelétrica; UFV – Fotovoltáica; UHE – Usina Hidrelétrica; UTE – Usina Termoelétrica.

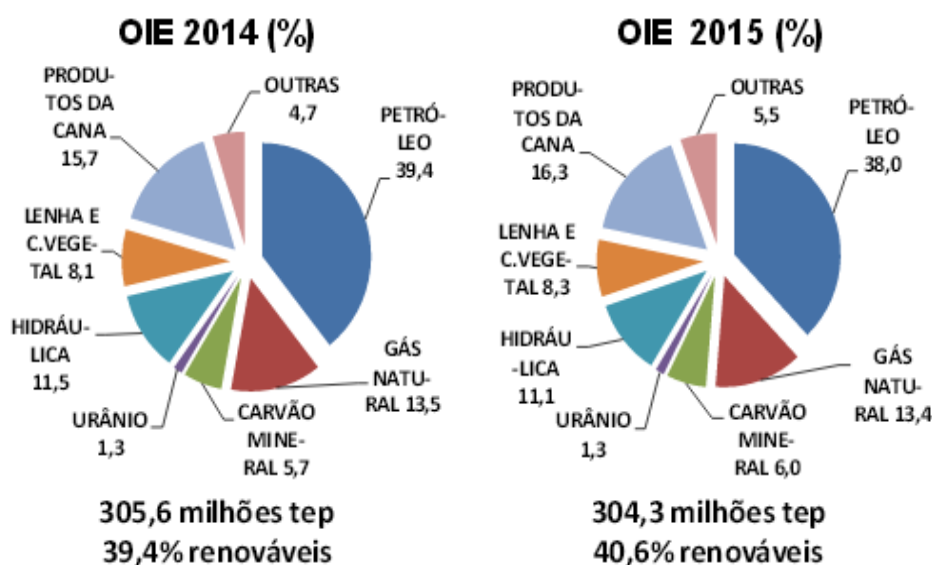
As fontes renováveis de energia, no caso do Brasil, têm origem predominantemente de origem hidráulica (PORTAL BRASIL, 2011). Na Tabela 2, a fonte de origem hídrica atualmente é responsável por 67,11% da produção de energia elétrica no país, em seguida fóssil (Carvão Mineral, Gás natural, Outros Fósseis e Petróleo) com 17,25% e Biomassa (Agroindustriais, Biocombustíveis Líquidos, Floresta, Resíduos animais, Resíduos sólidos urbanos) com 8, 85%.

Tabela 2. Fontes utilizadas no Brasil – empreendimentos em fase de operação

Origem	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
Fóssil	2.368	27.307.078	26.212.645	17
Biomassa	523	14.019.781	13.413.012	9
Nuclear	2	1.990.000	1.990.000	1
Hídrica	1.222	106.256.171	92.596.360	67
Eólica	357	8.728.468	8.660.990	6
Solar	39	26.952	22.952	0
TOTAL	4.511	158.328.449	142.895.958	100

Fonte: ANEEL (2016).

De acordo com Ministério de Minas e Energia (MME, 2015), a Oferta Interna de Energia (OIE) ou Demanda brasileira de energia, representa a energia necessária para movimentar a economia – inclui o consumo final de energia nos setores econômicos e residenciais, as perdas no transporte e distribuição de energia e as perdas nos processos de transformação de energia (Figura 5).



Fonte: Boletim Mensal de Energia. Mês de referência Junho/2015. (MME, 2016.).

Figura 5: Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte

Segundo a *International Energy Agency* (IEA, 2015), o Brasil é o terceiro país em produção de energia hidroelétrica, ficando atrás da República Popular da China e Canadá (Tabela 3), representando um total de 10,1% da produção mundial.

Tabela 3. Países Produtores de Energia Hidrelétrica

Produtores	Tonelada Watt/h	Porcentagem total no mundo
República Popular da China	920	23,8
Canadá	392	10,1
Brasil	391	10,1
Estados Unidos	290	7,5
Rússia	183	4,7
Índia	142	3,7
Noruega	129	3,3
Japão	85	2,2
Venezuela	84	2,2
França	76	2,0
Mundo	3.874	100,00

Fonte: EIA (2015)

Mas de 68% da energia elétrica produzida no Brasil são destinadas a atender o consumo doméstico, ficando atrás somente da Noruega (Tabela 4).

Tabela 4. Comparativo de energia Hidrelétrica no consumo doméstico

Países Produtores (TOP 10)	Porcentagem de energia hidrelétrica gerada para consumo doméstico
Noruega	96,1%
Brasil	68,6%
Venezuela	67,8%
Canadá	60,1%
Rússia	17,3%
República Popular da China	16,9%
França	13,2%
Índia	11,9%
Japão	8,1%
Estados Unidos	6,7%
Outros Países	15,6%
Mundo	16,6%

Fonte: EIA (2015)

4.3. POTENCIAL ENERGÉTICO DA REGIÃO AMAZÔNICA

O Brasil ocupa quase metade da América do Sul e é o país com a maior diversidade de espécies no mundo, espalhadas nos seis biomas terrestres e nos três grandes ecossistemas marinhos (MMA, 2016). O bioma mais representativo do Brasil é o amazônico, possuindo um território de 4.196,943 milhões de km², cerca de 49,29% do território brasileiro (IBGE, 2004) e de altíssima diversidade socioambiental, que vem sofrendo extremas transformações ao longo dos anos.

A cobertura total pelo bioma amazônico é cerca de 7,8 milhões de km² distribuídos em 8 países: Bolívia (6,2%), Brasil (64,3%), Colômbia (6,2%), Equador (1,5%), Guiana (2,8%), Guiana Francesa (1,1%), Peru (10,1%), Suriname (2,1%) e Venezuela (5,8%) (RAISG, 2012).

A bacia amazônica é considerada a maior bacia hidrográfica do mundo, cobrindo cerca de 6 milhões de km² e possuindo cerca de 1.100 afluentes (MMA, 2016), sendo visto com extrema importância no quesito geração de energia. Os impactos relacionados às barragens incluem efeito sobre as populações tradicionais, perda da fauna nativa e outros recursos dos rios, no reassentamento da população urbana e rural, além dos impactos sobre a saúde, incluindo proliferação de insetos e metilação de mercúrio (FEARNSIDE, 2014).

O projeto do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira prevê a construção de eclusas para tornar navegável o trecho entre Porto Velho e Guajará-Mirim em Rondônia e, no futuro, formar um complexo de quatro usinas hidrelétricas e uma malha hidroviária de 4.200 km navegáveis, no âmbito de integração de infraestruturas de energia e de transportes entre Brasil, Bolívia e Peru (IIRSA, 2008). Essa hidrovia será utilizada para a passagem de grandes embarcações desde Puerto Maldonado, no Peru, e Riberalta, na Bolívia, até a desembocadura do Amazonas no Atlântico. (FEARNSIDE, 2014).

A Hidrovia do Madeira é navegável numa extensão de 1.056 km entre Porto Velho e sua foz, no rio Amazonas, permitindo, mesmo na época de estiagem, a navegação de grandes comboios com até 18,000 toneladas. Atualmente, é transportado 2 milhões de toneladas/ano de produtos dentre minério e grãos a granel (DNIT, 2017).

De acordo com a Eletrobrás (2015) e Sistema do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT, 2015), o potencial hidrelétrico brasileiro por Bacia Hidrográfica até dezembro de 2015 para o Rio Amazonas foi de 96.638,02 MW. O potencial energético gerado pelas usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau correspondem a 3.150Mw e 3.300Mw, respectivamente, e somam a potência associada de 6.450MW.

Em análise ao cenário de restrições ambientais relacionadas aos tipos de empreendimentos a serem instalados na bacia amazônica, a região do Rio Madeira, localidade das UHE's deste estudo, possui 10,6% da sua capacidade restringida ambientalmente (Tabela 5).

Tabela 5. Bacia do Amazonas, restrições ambientais ao potencial hidrelétrico a aproveitar por sub-bacia (MW)

Sub-bacia	Sem restrições ambientais (MW)	Com restrições ambientais (MW)	Total (MW)
Tapajós	6.875	17.841	24.716
Xingu	5.681	17.114	22.795
Madeira	13.144	1.556	14.700

Trombetas	1.491	4.745	6.236
Negro	-	4.184	4.184
Jari	318	1.373	1.691
Branco	419	660	1.079
Paru	820	118	938
Oiapoque	-	250	250
Purus	213	213	426
Maecuru	161	161	322
Nhamunda	-	110	110
Uatumã	75	-	75
TOTAL	29.197	48.325	77.522

Fonte: EPE (2008).

4.4. CONSTRUÇÃO UHE SANTO ANTÔNIO E JIRAU

As Usinas de Santo Antônio e Jirau localizam-se em trecho do Rio Madeira, inteiramente situado no município de Porto Velho, estado de Rondônia (Figura 5) (FURNAS, 2005). A barragem da Usina de Santo Antônio localiza-se sobre a Ilha do Presídio, a 10 km da cidade de Porto Velho e a barragem da Usina de Jirau localiza-se na altura das corredeiras de Jirau, situadas a 136 km da cidade de Porto Velho. Segundo o relatório de análise do EIA/RIMA, esses empreendimentos possuem 11 Unidades de Conservação na Área de Influência Indireta e 7 unidades na Área de Influência Direta (FURNAS, 2005).

De acordo com o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) das usinas hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio, as usinas atendem as exigências para sua viabilidade. Para que um projeto de geração de energia com base hídrica seja viável, é necessário que haja um consenso entre todos os agentes, ou seja, quando:

- Há viabilidade técnica para sua execução;
- Há agentes interessados em sua construção e financiamento;
- Há demanda por energia que justifique o Projeto;
- Não há conflito entre sua operação e os demais usos da água em sua região de implantação;
- Sua implantação e operação acarretam impactos ambientais reparáveis ou compensáveis;

- A população local pode ser devidamente compensada pelos transtornos causados por sua implantação e operação.

O processo de decisão a implantação de usinas hidrelétricas envolve diferentes agentes governamentais e não governamentais. Entre os governamentais, há aqueles que planejam e regulam o setor elétrico; que definem o uso das águas; que controlam os recursos naturais e ainda os agentes que planejam e controlam o uso do solo. Os não governamentais são representados por empresas interessadas na exploração do mercado energético, fornecedoras de insumos e serviços, investidores, grupos de interesse específico, ONGs e as populações direta ou indiretamente afetadas (CAMPOS, 2005).

Ainda segundo o RIMA (2005) a relação área reservatório/potência da usina é bem inferior dessas usinas se comparadas com outras da região amazônica, conforme mostra a Tabela 6. Mesmo a relação área reservatório/potência sendo menor em comparação com outros empreendimentos na região amazônica, não significa que o impacto ambiental gerado pela implantação dessas usinas seja menor. No mesmo relatório, a justificativa apresentada para a instalação dessas usinas e que assim, permitiria a ligação de Porto Velho ao Sistema Elétrico Interligado Brasileiro, garantindo maior confiabilidade ao fornecimento de energia à região e a redução da participação do óleo diesel na matriz energética do estado de Rondônia.

Tabela 6. UHE's na região amazônica – Áreas de Reservatório X Potência.

Usinas na região Amazônica	Áreas dos reservatórios (Km²)	Potência (MW)	Área reservatório/potência da usina (Km²/MW)
Balbina	2360	250	9,44
Samuel	584	217	2,69
Manso	387	210	1,84
Tucuruí			
1ª Etapa	2414	4000	0,61
2ª Etapa		8000	0,30
Jirau	258	3300	0,08
Santo Antônio	271	3150	0,086

Fonte: Furnas (2005).

O exemplo de erros como os que estão sendo analisados, Balbina é o melhor ponto de comparação foi um erro histórico.

4.5. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E O PROCESSO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O processo de licenciamento ambiental nada mais é do que uma estratégia do Estado visando o equilíbrio das atividades econômicas e o meio ambiente. Segundo o Art. 3º da Resolução CONAMA 237/97 diz sobre o licenciamento ambiental:

“Art. 3º- A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual dar-se-á publicidade, garantida a realização de audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação”. Resolução CONAMA 237/97.

O empreendimento que envolve qualquer atividade potencialmente poluidora ou degradadora deve apresentar estudos de impacto ambiental como forma de prerrogativa para qualquer construção que altere ou perturbe o meio ambiente. Porém, o licenciamento, tal como está implementado, cria ônus burocrático sem avanços ambientais mensuráveis (THE WORLD BANK, 1998).

Segundo Abramovay (2010), o licenciamento brasileiro é muito focado nos efeitos diretos das obras, não considerando temas como os grandes deslocamentos populacionais e seus resultados futuros. Fato recorrente quando se trata de construções é a oferta de emprego, não sendo considerada em estudos ambientais a consequência desse deslocamento e diretamente relacionado o aumento de desmatamento.

Atualmente, três hidrelétricas construídas na Amazônia (Santo Antônio, Jirau e Belo Monte) foram objeto de denúncias sobre pressão política para emitir licenças ambientais. As operações da Operação Lava Jato ¹ mostram indícios de corrupção na obtenção de licença ambiental, envolvendo principalmente a hidrelétrica de Santo Antônio e a empreiteira responsável Odebrecht (REVISTA ÉPOCA, 2017).

¹ Operação Lava-Jato: é o termo utilizado para descrever a maior operação de investigação de corrupção e lavagem de dinheiro no Brasil. Iniciou com uma investigação do uso de uma rede de postos de combustível e lava a jato de automóveis para movimentar recursos ilícitos pertencentes a uma das organizações criminosas, que derivou o nome da operação (MPF, 2017).

4.6. CHEIA DO RIO MADEIRA NO ANO DE 2014

Medições pluviométricas são realizadas no Rio Madeira desde 1966, afim de que ocorra o controle e gestão do recurso hídrico. A partir dessas medições, foi possível a construção de um gráfico de análise das descargas diárias x meses em dos anos de 1966 a 2014 (Figura 6).

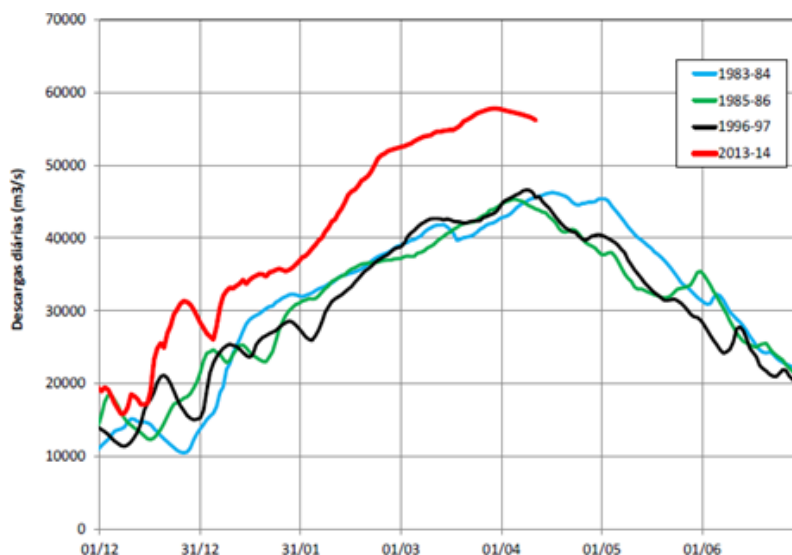


Figura 6: Cheias excepcionais do Rio Madeira em Porto Velho sobre o período de 1966-2014. Fonte: VAUCHEL (2014).

Durante a cheia de 2014, as descargas observadas foram especialmente altas em todas as estações da bacia do rio Madeira (VAUCHEL, 2014), superando em 26% a descargas dos anos anteriores.

A Tabela 7 abaixo mostra às descargas máximas observadas em 2014 em durações de 11, 21 e 31 dias comparadas as descargas máximas dos anos anteriormente observados.

Tabela 7: Comparação cheia de 2014 com cheia de anos anteriores observadas no rio Madeira, em Porto Velho-RO.

Descarga máxima da Cheia de 2014, por duração.			Descargas máximas e ano de cheia mais fortes (1967 a 2014), por duração.					
11 dias (m³/s)	21 dias(m³/s)	31 dias(m³/s)	11 dias(m³/s)	Ano	21 dias(m³/s)	Ano	31 dias(m³/s)	Ano
57560	57250	56850	45890	1997	4544	1984	4519	1984

Fonte: Adaptado de Vauchel (2014)

Com o aumento da vazão temporária do rio, a população das cidades ribeirinhas foi as mais atingidas, sendo desalojadas aproximadamente 20 mil pessoas na capital de Rondônia, num total de 4,5 mil famílias (JORNAL OGLOBO,2014). Além disso, a exposição a doenças, como diarreias, malária, dengue, leptospirose e o aumento do

número de picadas de cobras e ferradas de animais peçonhentos são consequências desse fato (PORTAL G1, 2014).

A vegetação também foi diretamente afetada pelo aumento da vazão, quando o nível de água chegou a atingir a copa de algumas árvores (Figura 7).



Figura 7: Nível da água na Cheia de 2014 atingindo copas de árvores. Foto: Luiz Cláudio Fernandes

4.7. SATÉLITE LANDSAT E SENSORES TM E OLI/TIRS

O programa LANDSAT é considerado pioneiro no sensoriamento remoto do mundo. A série teve início na segunda metade da década 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), sendo dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres (INPE, 2017).

O primeiro satélite de sensoriamento remoto no mundo foi o LANDSAT – 1, direcionado a pesquisas de recursos naturais, na qual levava dois instrumentos a bordo, as câmeras RBV e MSS (INPE, 2017). Foi lançado em 1972 e de lá até hoje foram lançados 8 satélites da série, todos com imagens multiespectrais.

No presente estudo foram utilizadas as imagens dos sensores dos satélites LANDSAT 5 (TM) e LANDSAT 8 (OLI) e os produtos das imagens georeferenciadas estão no formato GeoTIFF e projeção UTM/ SIRGAS 2000.

O satélite LANDSAT 8 possui 11 bandas espectrais, sendo a banda 1 (*coastal aerosol*) projetada especificamente para o estudo dos recursos hídricos e zonas costeiras e a banda 9 (Cirus), projetada para detecção de nuvens.

Esse satélite apresenta resolução temporal de aproximadamente 16 dias, resolução espacial de 30 metros para as bandas do visível, 15 metros para a banda pancromática e 100 metros para as termais, e resolução radiométrica de 16 bits por pixel (ALVARENGA & MORAES, 2014).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida na região Norte do Estado de Rondônia, no entorno do rio Madeira, entre os paralelos: Latitude 08° 47' 42" S e Longitude 63° 50' 45" W (Figura 6).

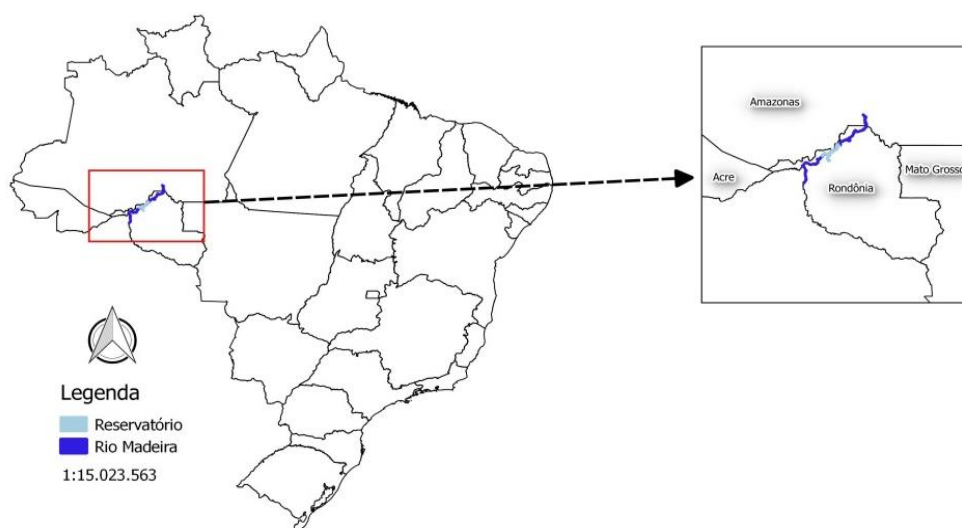


Figura 8. Localização da área de estudo (UHES de Santo Antônio e Jirau no rio Madeira) no Estado de Rondônia.

O Estado tem 237.765,376 Km², 52 municípios e uma população estimada em 1.787.279 (IBGE,2017). Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante no Estado é do tipo Aw – Clima Tropical Chuvoso, caracterizado por apresentar índice pluviométrico relativamente elevado e com nítido período seco (XAVIER, BASTOS, 1982). De acordo com o Boletim Climatológico do Estado de Rondônia, a média anual


da precipitação pluviométrica possui uma variação entre 1.400 a 2.600 mm/ano, com precipitação inferior a 20 mm nos meses de Junho, Julho e Agosto.

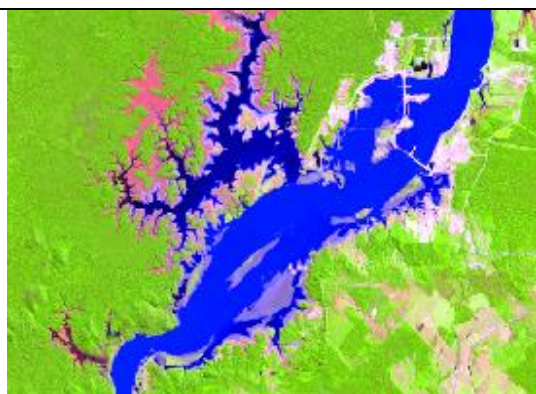
O Rio Madeira é um dos principais rios do Brasil e o mais importante afluente do rio Amazonas. A bacia hidrográfica do Madeira possui 125 milhões de hectares e extensão de 3.240 km². Sua vazão média é de 24 mil m³ de água por segundo, percorrendo os territórios Bolivianos, Peruanos e Brasileiros.

A área amostral das usinas de Jirau e Santo Antônio possuem proximidade a capital do estado de Rondônia, Porto Velho, de 136 km e 6 km respectivamente. O relatório de análise do EIA/RIMA desses empreendimentos indicam 11 Unidades de Conservação na Área de Influência Indireta e 7 Unidades na Área de Influência Direta.

5.2. BASE DE DADOS

No presente estudo foram utilizadas imagens dos sensores LANDSAT 5 (TM) e LANDSAT 8 (OLI) disponíveis gratuitamente no site <http://www.dgi.inpe.br> do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e no site <http://www.earthexplorer.usgs.gov> do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), respectivamente. Foram escolhidas imagens Landsat adquiridas nos anos de 2011 e 2016 para a análise temporal, considerando o período da construção do empreendimento e o fechamento do reservatório, respectivamente (Figura 9). O delineamento da área de estudo teve por critério áreas de remanso dos empreendimentos Santo Antônio e Jirau.

Área de Estudo	Anos
	2011



2016

Figura 9: Imagens LANDSAT 5 e LANDSAT 8 para os anos 2011 e 2016 respectivamente, em composição colorida RGB Vermelho/Infravermelho próximo/Infravermelho médio.

A escolha dos anos de 2011 e 2016 foi devido a temporalidade das construções dos empreendimentos e o fechamento das barragens, respectivamente, possibilitando a análise dos impactos ambientais ocorridos pós-enchimento dos reservatórios das UHE de Santo Antônio e Jirau. A escolha das datas e meses para os respectivos anos em análise buscou a escolha de imagens com menos interferências da atmosfera (ausência de nuvens) e uniformidade das imagens, por se tratar de períodos de seca (Julho/Agosto). Buscou-se também o mapeamento das águas durante o período de baixa vazão do rio Madeira, que favorece o delineamento dos contornos das áreas diretamente afetadas da região de estudo (Tabela 8), tendo como referência os comprimentos de onda para LANDSAT 8 (OLI) e LANDSAT 5TM.

Tabela 8: Imagens LANDSAT 5 (TM) e LANDSAT 8 (OLI) utilizadas em estudo.

Ano	Órbita	Ponto	Data / Mês	Bandas	Fonte
2011	232	66	12 de Julho	1 - 5 e 7	INPE
	233	66	03 de Julho	1 - 5 e 7	USGS
	233	67	03 de Julho	1 - 5 e 7	USGS
2016	232	66	03 de Agosto	2 a 7	USGS
	233	66	09 de Julho	2 a 7	INPE
	233	67	09 de Julho	2 a 7	INPE

Adicionalmente, foram utilizados dados no formato vetorial correspondentes às áreas das represas e lagos previstas na construção das Usinas Hidroelétricas no Rio Madeira, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA). Esses dados estão anexados ao processo de licenciamento ambiental (EIA/RIMA). O limite do estado de Rondônia, também em formato vetorial, foi obtido no *site* da internet da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM, 2012).

5.3. PRÉ- PROCESSAMENTO

Segundo Meneses (2002), o objetivo do pré- processamento é a correção preliminar dos erros que os dados originais possam apresentar, visando as suas transformações em imagens de melhores qualidades espectrais e espaciais e que sejam mais apropriadas para uma determinada aplicação. Tais correções são realizadas para remover ou corrigir erros e distorções advindas dos sistemas de sensores. Para o presente trabalho, a correção atmosférica e geométrica não se fez necessária, pois não houve mudanças relevantes na qualidade da imagem.

No presente estudo, a composição das imagens foi feita com o auxílio da ferramenta *composite bands* do ArcGis onde as bandas das imagens foram compostas nas seguintes combinações: banda 5 no canal vermelho, banda 4 no canal verde e banda 3 no canal azul para efeito de melhor visualização.

Após a composição das bandas, foi feito um mosaico por órbitas, sendo necessário que pelo menos duas das imagens fossem da mesma data para que fossem unidas. Para o delineamento desse mosaico, foi criado um *buffer* de 30 quilômetros a partir dos limites do rio Madeira no trecho entre Calama e Nova Mamoré, antes do enchimento dos reservatórios das UHE, possibilitando o estudo dos impactos nas Áreas de influência das usinas (Figura 11).

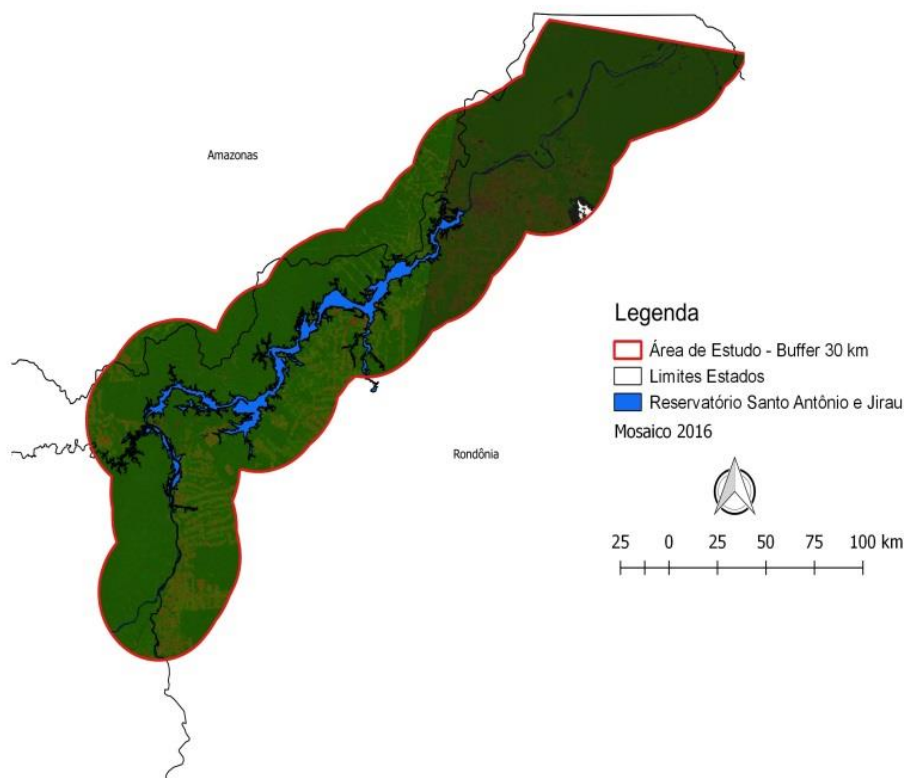


Figura 10: Área de estudo, incluindo um buffer de 30 km no entorno dos limites rio Madeira no trecho entre Calama e Nova Mamoré, antes do preenchimento dos reservatórios das UHE de Santo Antônio e Jirau, no estado de Rondônia.

5.4. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Os softwares especializados em processamento de imagens de sensoriamento remoto dividem as técnicas de processamento digital em dois tipos básicos: realce e classificação, às quais antecede uma fase de pré-processamento (MENESES, 2012).

Para a produção de mapas de uso e classificação, foi utilizado o *software* de processamento de imagens ERDAS IMAGINE®, utilizando a ferramenta de classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança (MaxVer) para os mosaicos de cada ano.

O classificador por Máxima Verossimilhança (MaxVer) considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos (MENESES, 2012). Para isso, considera-se que todas as bandas possuem uma distribuição normal e calcula a probabilidade de um pixel pertencer a uma classe específica, ou seja, cada pixel é destinado à classe que tem a mais alta probabilidade. Esse classificador é considerado eficiente, pois, as classes consideradas testes são

utilizadas na estimativa da distribuição dos pixels contido em cada classe no espaço de n bandas, como também a localização do centro de cada classe (MENESES 2012).

Por ser um classificador com base na probabilidade é recomendável que se tenha números de pixels por classe de amostragem mais ou menos iguais, e que sejam tomadas mais do que uma área de amostragem por classe (MENESES 2012). Para cada classe de interesse, foram amostrados de 20 a 50 polígonos em diferentes pontos na área de estudo.

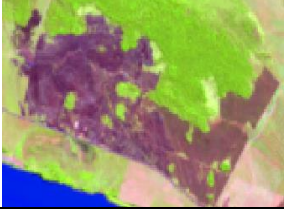

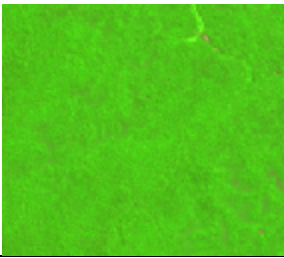

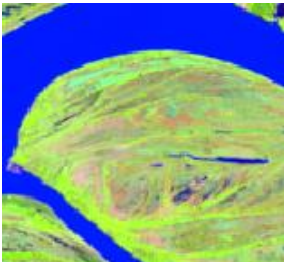
Para a aplicação da classificação supervisionada, foi necessário definir as classes de uso e cobertura da terra de interesse neste estudo. Assim, para a classificação das imagens foram estabelecidas previamente as seguintes classes de interesse (Tabela 9):

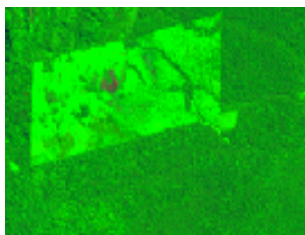
Tabela 9: Classes de uso e cobertura do solo.

Número	Classe
1	Área Queimada
2	Copos d'água
3	Desmatamento
4	Regeneração Secundária
5	Floresta
6	Campos Alagados
7	Paliteiro

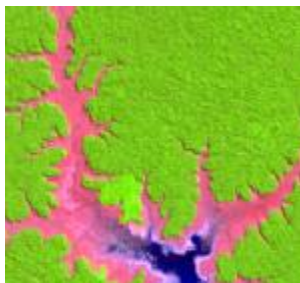
No processo de amostragem das classes de interesse, foi feita a identificação visual de cada classe de interesse nas imagens Landsat em composição colorida. A escolha da composição colorida buscou a análise de dados em termos de eficiência, tempo e custo possibilitando a melhor interpretação visual, demarcação das áreas inundadas e visualização da mancha de paliteiros. Para a identificação dos diferentes usos e coberturas do solo, foi adotada a combinação RGB Infravermelho médio, infravermelho próximo e Infravermelho para ambos os sensores LANDSAT 5 e LANDSAT 8 (Tabela 10).

Tabela 10: Composição colorida RGB 5/4/3 para LANDSAT 5 e LANDSAT 8

Composição Colorida	
LANDSAT 5 (RGB 5/4/3) e LANDSAT 8 (RGB 6/5/4).	Uso e Cobertura do Solo
	Área queimada
	Corpos d'água
	Floresta
	Desmatamento
	Campos Alagados



Regeneração Secundária



Paliteiro

A partir da identificação de cada feição de interesse neste estudo, foram feitas as amostragens utilizando polígonos das áreas de interesse, para adquirir as assinaturas espectrais das respectivas feições. As assinaturas foram armazenadas e utilizadas para a classificação em toda a área de estudo. As assinaturas variaram para cada conjunto de imagens de diferentes datas.

5.5. BASE DE DADOS ADICIONAIS

Foi utilizado ainda uma camada em formato vetorial dos limites do rio madeira, em margem dupla em todo o trecho do rio de estudo. Complementarmente, utilizou-se os limites dos reservatórios de Santo Antônio e Jirau. Esses limites foram utilizados para as análises de impactos dentro da área de remanso fornecida pelo empreendimento, bem como o limite da área de estudo.

5.6. VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO

Para a validação das imagens no presente estudo, foi feito a fusão (espaço-espectral) de imagens LANDSAT 8 para melhorar a sua resolução espacial de 30 para 15 metros. Foi utilizada a banda pancromática de alta resolução com bandas multiespectrais de resolução média (de mesma data) para que se obtenha uma resolução de 8 a 15 metros. Nesta etapa foram utilizadas as imagens 233/66 e 233/67 adquiridas em 2016, conforme especificado anteriormente.

Na sequência, foram aleatorizados pontos amostrais para checagem da classificação sobre a imagem Landsat de resolução espacial melhorada. Para a validação foram observados 200 pontos amostrais de checagem (n) aleatórios na área de estudo.

Foi feita a comparação visual das áreas classificadas pelo classificador supervisionado e as imagens fusionadas para que se gerassem valores para a construção de uma matriz de erros.

Para a validação dos resultados da classificação visual foram estimadas a acurácia global, do usuário e do produtor. A acurácia é normalmente expressa em termos de índices que são calculados a partir de matrizes de erros que expressam a concordância entre a imagem classificada e o conjunto de amostras de referência (MENESES 2012). Resultados de acurácia de 100% indicam que todos os pixels das imagens foram classificados de forma correta em comparação ao conjunto de dados de referência (imagem real). Acurácia de 50% indica que metades dos pixels foram classificadas de forma correta. Para acurácias mais precisas, a matriz de erros se faz necessária.

Segundo Lillesand et al. (2004) a matriz de erro, também denominada matriz de confusão, compara, categoria por categoria, a relação entre os dados de referência conhecidos e os resultados correspondentes de uma classificação automatizada. Erros de omissão (exclusão) e de comissão (inclusão) se referem a uma definição imperfeita da categoria ou uma delimitação excessiva da categoria, respectivamente (FERREIRA, 2007). Erros de omissão (exclusão) e de comissão (inclusão) de cada classe podem ser calculados a partir dessa matriz (Tabela 11).

Tabela 11: Matriz de erros ou confusão

Verdade	Classificação							TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	
1	<i>X_{1,1}</i>	<i>X_{1,2}</i>	<i>X_{1,3}</i>	<i>X_{1,4}</i>	<i>X_{1,5}</i>	<i>X_{1,6}</i>	<i>X_{1,7}</i>	<i>X+1</i>
2	<i>X_{2,1}</i>	<i>X_{2,2}</i>	<i>X_{2,3}</i>	<i>X_{2,4}</i>	<i>X_{2,5}</i>	<i>X_{2,6}</i>	<i>X_{2,7}</i>	<i>X+2</i>
3	<i>X_{3,1}</i>	<i>X_{3,2}</i>	<i>X_{3,3}</i>	<i>X_{3,4}</i>	<i>X_{3,5}</i>	<i>X_{3,6}</i>	<i>X_{3,7}</i>	<i>X+3</i>
4	<i>X_{4,1}</i>	<i>X_{4,2}</i>	<i>X_{4,3}</i>	<i>X_{4,4}</i>	<i>X_{4,5}</i>	<i>X_{4,6}</i>	<i>X_{4,7}</i>	<i>X+4</i>
5	<i>X_{5,1}</i>	<i>X_{5,2}</i>	<i>X_{5,3}</i>	<i>X_{5,4}</i>	<i>X_{5,5}</i>	<i>X_{5,6}</i>	<i>X_{5,7}</i>	<i>X+5</i>
6	<i>X_{6,1}</i>	<i>X_{6,2}</i>	<i>X_{6,3}</i>	<i>X_{6,4}</i>	<i>X_{6,5}</i>	<i>X_{6,6}</i>	<i>X_{6,7}</i>	<i>X+6</i>
7	<i>X_{7,1}</i>	<i>X_{7,2}</i>	<i>X_{7,3}</i>	<i>X_{7,4}</i>	<i>X_{7,5}</i>	<i>X_{7,6}</i>	<i>X_{7,7}</i>	<i>X+7</i>
TOTAL	<i>X+1</i>	<i>X+2</i>	<i>X+3</i>	<i>X+4</i>	<i>X+5</i>	<i>X+6</i>	<i>X+7</i>	<i>n</i>

Em uma matriz de confusão, o número de acertos para cada classe escolhida, se localiza nos valores da diagonal principal. A acurácia total é o somatório dos valores da diagonal, variando de 0 (mínimo) a 1 (máximo). Seu cálculo é realizado pela seguinte equação:

$$Acurácia\ Total = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{n}$$

Onde:

x_{ii} = valores da diagonal

n = número total de classificações

Para melhores resultados da matriz, os erros e exclusão e inclusão se fazem necessários. Para isso, os erros de inclusão foram chamados de Acurácia do Usuário (Au) e os de exclusão de Acurácia do Produtor (Ap) (Tabela 12).

Tabela 12: Matriz de confusão final com inclusão das acurácias do usuário (Au) e acurácia do Produtor (Ap).

Verdade	Classificação							TOTAL	Au
	1	2	3	4	5	6	7		
1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$	$x_{1,4}$	$x_{1,5}$	$x_{1,6}$	$x_{1,7}$	x_{+1}	
2	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	$x_{2,3}$	$x_{2,4}$	$x_{2,5}$	$x_{2,6}$	$x_{2,7}$	x_{+2}	
3	$x_{3,1}$	$x_{3,2}$	$x_{3,3}$	$x_{3,4}$	$x_{3,5}$	$x_{3,6}$	$x_{3,7}$	x_{+3}	
4	$x_{4,1}$	$x_{4,2}$	$x_{4,3}$	$x_{4,4}$	$x_{4,5}$	$x_{4,6}$	$x_{4,7}$	x_{+4}	
5	$x_{5,1}$	$x_{5,2}$	$x_{5,3}$	$x_{5,4}$	$x_{5,5}$	$x_{5,6}$	$x_{5,7}$	x_{+5}	
6	$x_{6,1}$	$x_{6,2}$	$x_{6,3}$	$x_{6,4}$	$x_{6,5}$	$x_{6,6}$	$x_{6,7}$	x_{+6}	
7	$x_{7,1}$	$x_{7,2}$	$x_{7,3}$	$x_{7,4}$	$x_{7,5}$	$x_{7,6}$	$x_{7,7}$	x_{+7}	
TOTAL	x_{+1}	x_{+2}	x_{+3}	x_{+4}	x_{+5}	x_{+6}	x_{+7}	n	
Ap									

A acurácia do usuário indica a porcentagem de acertos da classificação em relação ao real. Para seu cálculo, se fez o uso da seguinte equação:

$$Au = \frac{x_{ii}}{TOTAL}$$

Onde:

x_{ii} = valores da diagonal;

Total = somatório dos valores da coluna.

A acurácia do produtor indica a porcentagem de acerto de um polígono ou pixel verdadeiro (referência) ter sido corretamente classificado. Para seu cálculo, foi utilizada a seguinte equação:

$$Ap = \frac{x_{ii}}{TOTAL}$$

Onde:

x_{ii} = valores da diagonal;

Total = somatório dos valores da linha.

Para melhores resultados na avaliação de uma classificação de interesse, o índice estatístico *Kappa* foi utilizado, afim de que se obtenha uma medida do quanto foi melhor a classificação comparada com classes anteriores. Para essa medida de concordância, foram utilizadas as seguintes equações:

$$k = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2}$$

Onde:

K mínimo < 0

K máximo = 1

$$\theta_1 = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{n}$$

Onde:

x_{ii} = valores da diagonal principal;

n = número de amostras

$$\theta_2 = \frac{\sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2}$$

Onde:

x_{+i} = Total da coluna para uma dada categoria;

x_{i+} = Total da linha para uma dada categoria.

A partir disso, os valores para *Kappa* são julgados de acordo com a seguinte Tabela 13:

Tabela 13: Classificação do índice *Kappa* segundo Fonseca (2010)

Índice <i>Kappa</i>	Desempenho
<0	Péssimo
0<K<0,2	Ruim
0,2<K<0,4	Razoável
0,4<K<0,6	Bom
0,6<K<0,8	Muito Bom
0,8<K<1,0	Excelente

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO

A matriz de erros obtida pela validação da imagem classificada e a verdade indicam que a classificação supervisionada aplicada neste estudo para detectar áreas atingidas por fogo (queimada), corpos de água, desmatamento, regeneração, florestas, campos alagados e paliteiros, estimou uma acurácia global de 91% (Tabela 14)

Tabela 14: Resultados da Matriz de Confusão

Verdade	Classificação							SOMA	Au
	1	2	3	4	5	6	7		
1- Área queimada	3	0	0	0	1	1	0	5	0.60
2- Corpos D'água	0	5	0	0	1	0	1	7	1.40
3- Desmatamento	0	0	27	1	0	3	0	31	0.87
4- Regeneração	0	0	1	19	3	1	0	24	0.79
5- Florestas	0	0	1	0	118	0	0	119	0.99
6- Campo Alagado	0	0	1	2	2	8	0	13	0.62
7- Paliteiro	0	0	0	0	0	0	1	1	1.00
SOMA	3	5	30	22	125	13	2	0.91	
Ap	1.00	1.00	0.90	0.86	0.94	0.62	0.50		

Segundo Brites et al. (1996), a exatidão global, ou acurácia global, apresenta maiores valores em relação aos demais índices, pelo fato de considerar apenas a diagonal principal da matriz de contingência, ignorando a ocorrência de concordância casual entre as classes.

Com base na Tabela 14, o pior desempenho do classificador foi verificado para a acurácia do usuário na detecção de áreas queimadas e paliteiros, com subestimativa de 40% e 50%, respectivamente. Tal desempenho parece ter sido causado pela confusão com campos alagados e florestas. Em contrapartida, o classificador não superestimou as áreas atingidas pelo fogo e os paliteiros. Com isso, a discrepância nas acurácias para a classe Paliteiros foi considerada como áreas recém-alagadas e em processo de mortalidade da vegetação, não sendo configurados ainda como “paliteiros”, migrando assim de classe para Campos Alagados (Figura 11).



Figura 11: Áreas recém-alagadas e Paliteiros (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016).

Para as demais classes, o classificador apresentou bom desempenho, sempre superior a 70%. Assim, o resultado das acurácias avaliadas foi considerado satisfatório, atendendo a máxima probabilidade de um pixel classificado na imagem realmente representar a categoria em campo. Para análise geral, índice *Kappa* foi de 0.9, considerado “excelente” segundo a classificação de Fonseca (2010), concluindo que o mapa temático possui alta qualidade de classificação. Os resultados da classificação utilizada neste estudo podem ser considerados de bom parâmetro para a avaliação dos impactos ambientais nas áreas de influência do reservatório.

6.2. MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DO SOLO.

A partir das imagens classificadas dos anos de 2011(Figura 12) e 2016 (Figura 13), foi possível observar que as principais mudanças do uso e cobertura da terra na área de estudo ocorreram no trecho do rio Madeira localizado entre Porto Velho e Nova Mamoré. Neste trecho, o represamento do reservatório das UHE de Santo Antônio e Jirau foram responsáveis pela maior parte dos impactos no entorno do rio Madeira, incluindo a formação de paliteiros, áreas alagadas e solo exposto. Mais afastado das margens do rio Madeira, foi possível observar a expansão de áreas desmatadas para fins agropecuários, incluindo áreas de regeneração secundária.

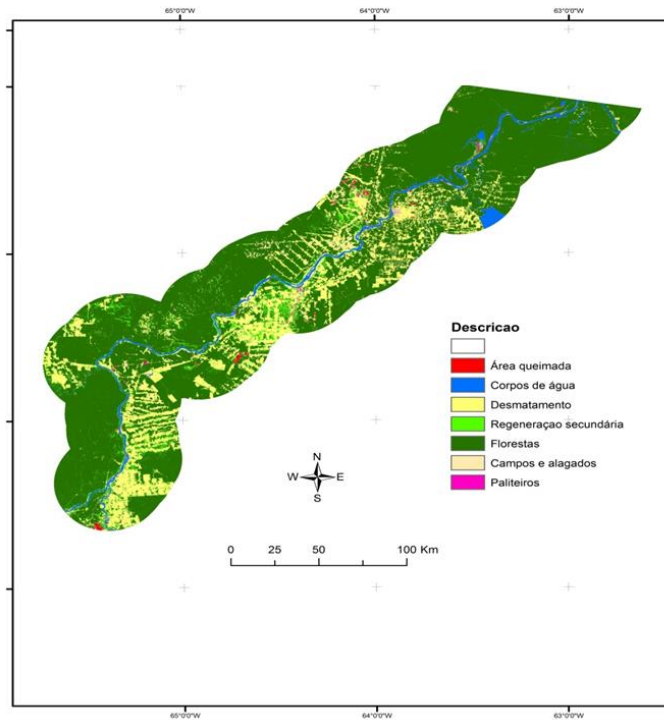


Figura 12: Uso e cobertura de terra na área de estudo em 2011 antes do fechamento dos reservatórios das UHE Santo Antônio e Jirau no rio Madeira, Rondônia.

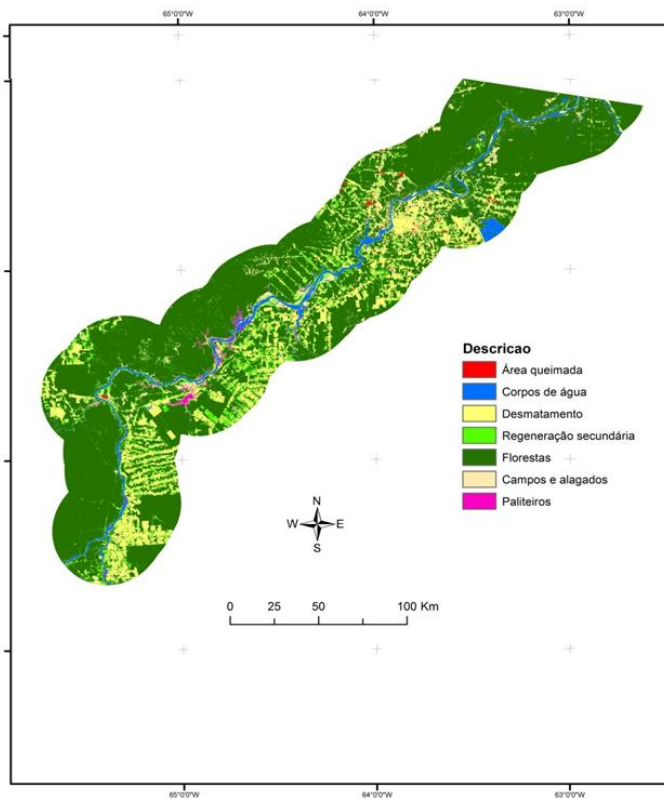


Figura 13: Uso e cobertura de terra na área de estudo em 2016 após o fechamento dos reservatórios das UHE Santo Antônio e Jirau no rio Madeira, Rondônia.

A partir dos resultados da classificação do uso e cobertura da terra em 2011, observou-se que as florestas e regeneração secundária predominavam (72,9%) da paisagem, ocupando 72,9% e 15,65 da área de estudo, respectivamente. Os campos, alagados e paliteiros ocupavam outros 3,5% da região estudada (Tabela 16). Tabela 15: Áreas de uso e cobertura no ano de 2011 (Km²).

Descrição	Santo Antônio	Jirau	Jusante	Total	%
Área queimada	1.748,8	4.380,3	3.981,3	10.110,4	0,3
Corpos de água	14.736,1	27.132,0	48.228,6	90.096,7	3,1
Desmatamento	127.728,0	245.350,0	84.825,0	457.903,0	15,6
Regeneração secundária	35.282,7	91.216,2	2.954,1	129.453,0	4,4
Florestas	399.551,0	970.173,0	776.456,0	2.146.180,0	72,9
Campos e alagados	37.338,4	35.595,4	31.500,1	104.433,9	3,5
Paliteiros	2.181,4	2.489,3	181,3	4.852,0	0,2
Total (Km²)	618.566,4	1.376.336,2	948.126,4	2.943.029,0	100

Entre 2011 e 2016, houve uma redução de mais de 77 mil km² de florestas nativas na área de estudo, a maioria substituída por corpos de água e alagados, regeneração secundária e paliteiros (Tabela 17).

Tabela 16: Áreas de uso e cobertura no ano de 2016 (Km²).

Descrição	Santo Antônio	Jirau	Jusante	Total	%
Área queimada	1.484,6	1.066,3	6.582,2	9.133,0	0,3
Corpos de água	26.345,3	32.358,7	37.166,3	95.870,3	3,3
Desmatamento	84.335,0	177.900,6	90.213,9	352.449,5	12,0
Regeneração secundária	63.835,7	131.079,2	38.892,4	233.807,2	7,9
Florestas	402.154,3	965.707,1	700.643,1	2.068.504,5	70,3
Campos e alagados	37.211,5	52.143,4	74.520,9	163.875,8	5,6
Paliteiros	3.193,7	16.084,3	108,0	19.386,0	0,7
Total (Km²)	618.560,1	1.376.339,5	948.126,8	2.943.026,4	100

7.1. DESMATAMENTO

No presente estudo, conceitualmente, as áreas que sofreram algum tipo supressão vegetal foram classificadas como desmatamento, mesmo que posteriormente venham a ser ocupadas ou permaneçam como solo exposto. Assim, a partir dos resultados da classificação deste estudo, foi possível estimar o desmatamento total ao longo dos anos utilizando a seguinte equação:

Desmatamento Total

$$= \sum \text{desmatamento} + \text{regeneração secundária} + \text{paliteiros} \\ + \text{campos e alagados}$$

Desse modo, o desmatamento total foi estimado em 696,641. 9 km² e 769,518.5 km² para 2011 e 2016, respectivamente, totalizando em 12.146,1 km² por ano. O aumento do desmatamento em áreas do reservatório ocorreu como consequência das inundações diretas dos reservatórios. Entretanto, mesmo em áreas a Jusante, próxima a cidade de Porto Velho, vem aumentando com maior intensidade ao longo dos anos. Tal fato pode estar relacionado à perda de vegetação em decorrência do desmatamento por residentes deslocados pelo reservatório e por imigrantes e investidores atraídos para a área (inclusive pela construção de estradas até os locais das barragens), e o agronegócio viabilizado pelas hidrovias associadas às barragens (FEARNSIDE, 2013).

7.2. PALITEIROS

A área ocupada por paliteiros aumentou 450% na área de influência da UHE de Jirau, ou seja, equivalente a 13.595 Km² de incremento entre 2011 e 2016. As áreas de paliteiros foram classificadas com facilidade devido as suas reflectâncias bem características registradas pelos sensores dos satélites Landsat no período da seca na região de estudo (Figura 14).



Figura 14: Áreas de Paliteiros (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016)

Os Paliteiros são árvores mortas oriundas das áreas de florestas inundadas pelo reservatório (DE ALMEIDA CAMPOS, 2011). Não resistindo a essas inundações perenes, essas populações arbóreas acabam morrendo afogadas pela submersão de suas raízes (Figura 15).



Figura 15: Área de Paliteiro (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016).

Outra hipótese a ser investigada é a mortalidade das árvores como consequência da elevação do lençol freático nas áreas mais afastadas do remanso (Figura 16).



Figura 16: Área de Paliteiros mais distantes do remanso (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016).

7.3. DIAGNÓSTICO DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS

Os efeitos do represamento das UHEs de Jirau e Santo Ant3nio foram observados a partir da compara73o de 3reas classificadas como paliteiros e os mapas vetoriais em formato *shapefile* do empreendimento. O resultado foi 3 diferen73a entre as 3reas deste estudo (cor r3sea), e do empreendimento (cor roxa) (Figura 17).

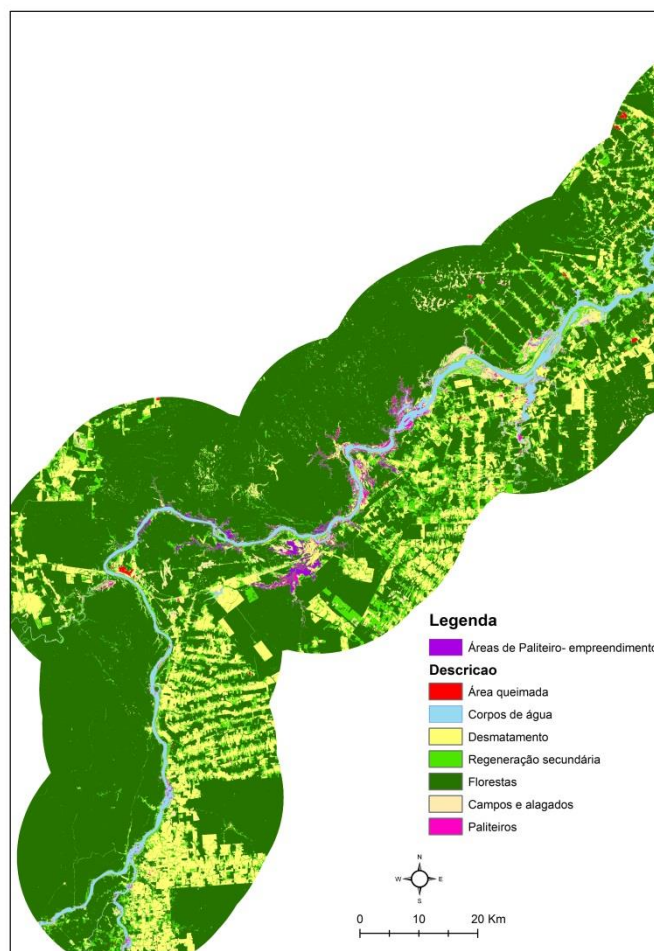


Figura 17: Diferen73a nas 3reas classificadas como paliteiros neste estudo com as 3reas fornecidas pelo empreendimento.

Tendo como princ3pio os resultados comparativos entre as 3reas, foi poss3vel observar incongru4ncias no EIA/RIMA, incluindo a responsabilidade pelos processos de prognose ambiental e a73es mitigat3rias. A falta de estudos mais aprofundados e progn3sticos, pode ter contribuído com o aumento das 3reas de paliteiros ao longo de 6 anos, entre o per3odo de constru73o e de funcionamento do empreendimento. Adicionalmente, observou-se que os impactos do enchimento do reservat3rio da UHE Jirau, transcenderam territ3rios brasileiros, afetando ambientalmente o territ3rio boliviano (Figura 18).

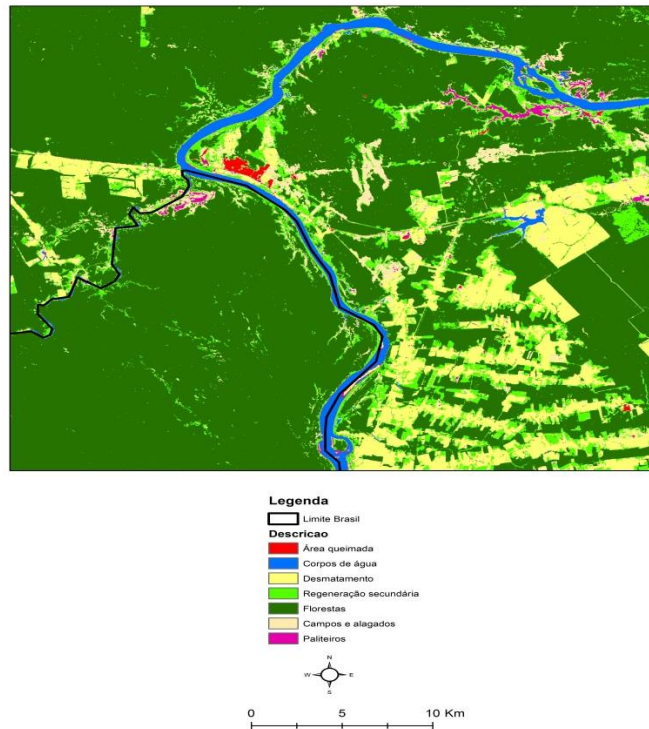


Figura 18: Área de paliteiros afetando ambientalmente o território boliviano

7.4. ANÁLISE DA EXPANSÃO DO DESMATAMENTO E PALITEIROS.

Para a análise da expansão das áreas de desmatamento e paliteiros, foram estimadas as áreas de prospecção do cenário futuro desses impactos ambientais.

7.5. DESMATAMENTO

A Figura a seguir mostra o aumento da área desmatada entre 2011 e 2016 na região de influência das UHEs de Santo Antônio e Jirau e a Jusante do Rio Madeira (Figura 20).

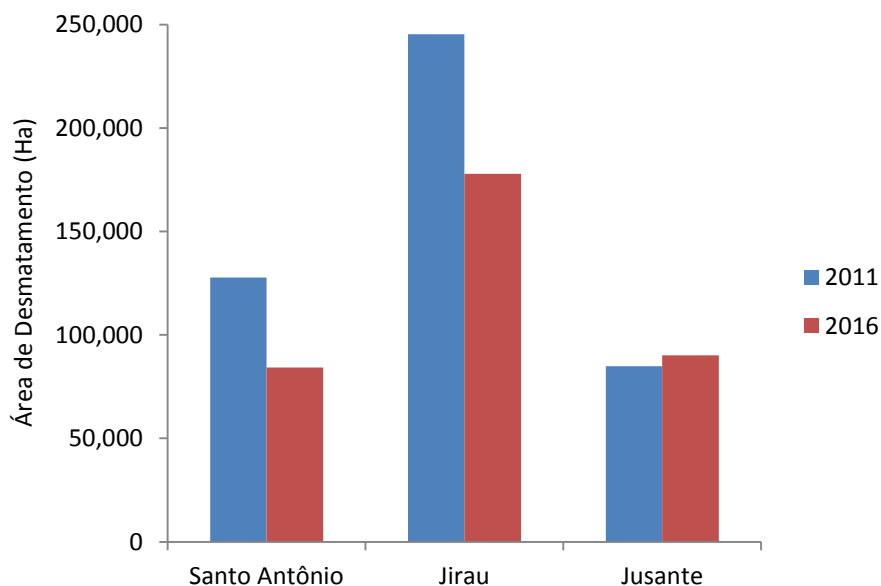


Figura 19: Aumento da área desmatada em hectare em Santo Antônio, Jirau e Jusante do rio Madeira.

O total das áreas desmatadas ao longo durante os anos de 2011 e 2016 demonstram o impacto que um empreendimento hidroelétrico pode causar, mesmo de forma indireta.

Os resultados deste estudo permitiram observar que o acréscimo do desmatamento está relacionado não só à construção dos empreendimentos e enchimento dos reservatórios de Santo Antônio e Jirau, mas também, pelo fluxo migratório para essas áreas pela oferta de emprego e expectativa da melhora da qualidade de vida. O aumento dessas áreas desmatadas pode estar relacionado, também, com a expansão das fronteiras agrícolas na região.

Segundo o Projeto PRODES de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 2017, entre Agosto de 2015 e Julho de 2016, o desmatamento na Amazônia Legal foi de 7.989 km² de corte raso e a contribuição da região de Rondônia foi de 1.394 km² para o ano de 2016, tendo uma variação de 35 % em relação ao ano anterior.

Segundo estudos feitos pelo Instituto de Pesquisa da Amazônia (IPAM,2016), Rondônia foi o único estado onde o desmatamento ocorreu em unidades de conservação da categoria de uso sustentável, Reservas Extrativistas (RESEX), próximas à cidade de Porto Velho.

7.6. PALITEIROS

O aumento da área de paliteiros no reservatório de Jirau é bastante expressivo. Com base nos dados de Área de uso e cobertura do solo, o aumento da área de paliteiros do ano de 2011 a 2016 chega a 450%, ou seja, cerca de 13.595 km² a mais nesse intervalo de tempo, considerando todas as áreas afeadas no Brasil e na Bolívia. A Figura 20 a seguir mostra o aumento de áreas de paliteiros em Santo Antônio, Jirau e Jusante para os anos de 2011 e 2016.

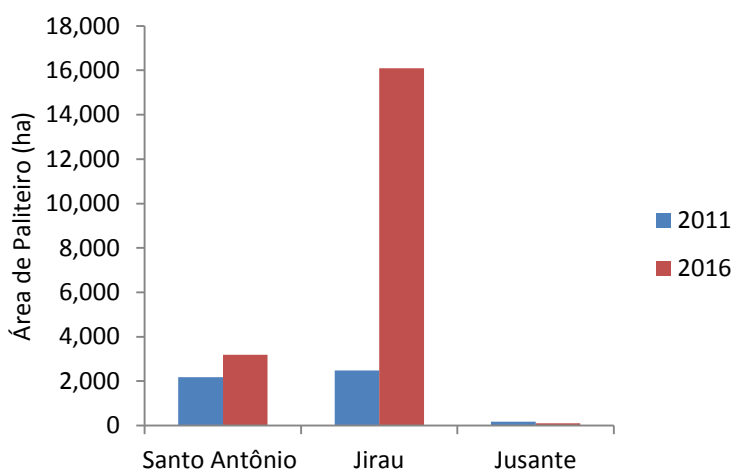


Figura 20: Aumento da área de paliteiros em hectare nos reservatórios de Santo Antônio, Jirau e a Jusante do rio Madeira.

As áreas de paliteiros são caracterizadas pela mortalidade das espécies vegetais, com destaque as florestas. A Figura 21 abaixo mostra a quantidade de árvores mortas como resultado do alagamento da área de influência direta dos reservatórios das UHEs de Jirau e Santo Antônio.



Figura 21: Área de paliteiros (fotos cedidas pelo IBAMA, obtida em Agosto de 2016).

Empreendimentos da dimensão das UHEs de Jirau e Santo Antônio apresentam grande potencial de impactos ambientais. Muitos desses impactos são irreversíveis e severos, como é o caso da área paliteiros, indicando que esse tipo de geração de energia dita como limpa, de baixo impacto e sustentável, na realidade pode causar grandes impactos ambientais.

8. CONCLUSÃO

As classificações do uso e cobertura da terra foram satisfatórias na detecção das feições de interesse. Destaca-se aqui a capacidade de detectar as áreas dos paliteiros com imagens gratuitas e técnicas relativamente compatíveis por instituições públicas responsáveis pelo monitoramento e controle ambiental na região de estudo. Os resultados deste estudo indicam um aumento substancial de áreas alagadas, corpos de água, paliteiros e campos inundados aumentaram expressivamente entre 2011 e 2016 na região de influência deste estudo. Essa tendência de aumento observada no período de estudo deve continuar nos próximos anos com a formação do lago e efeitos da elevação do lençol freático na vegetação de entorno, que devem ser melhor monitoradas.

Os impactos causados pelo represamento de águas nas barragens da UHE de Jirau atingiram áreas de vegetação nativa além do previsto originalmente nos Estudos Ambientais. Em alguns casos, os impactos atingiram limites internacionais, na Bolívia.

O acompanhamento mais detalhado e frequente das transformações ambientais em áreas de influência de megaempreendimentos como Santo Antônio e Jirau, podem ampliar o sucesso no controle dos danos ambientais. O monitoramento detalhado desses impactos ambientais pode contribuir para mitigar os danos causados no meio ambiente na área de estudo.

Por fim, é importante o reconhecimento da população local como agente participativo nos processos de controle do desmatamento, mantendo a conservação da biodiversidade pelos serviços ecossistêmicos prestados, servindo como barreira a ampliação das áreas desmatadas e destruição do bioma amazônico.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOVAY, Ricardo. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil? *Novos estudos-CEBRAP*, 2010. n. 87, p. 97-113.
- ALVARENGA, A.S., MORAES, M.F. Utilização de imagens LANDSAT-8 ara caracterização da cobertura vegetal. 2014. Disponível em: <http://mundogeo.com>. Último acesso em 10 de Março de 2017.
- ANA [Agência Nacional de Águas]. Aproveitamento do Potencial Hidráulico para Geração de Energia. *Caderno de Recursos Hídricos*. Brasília: ANA, 2005.
- ANEEL: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Z_IG_Dez_2014_v3.pdf, Informações Gerenciais, página 4 - Empreendimentos em Operação (2014). Acesso em 25/05/2016.
- ANEEL: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Z_IG_Dez_2014_v3.pdf, Informações Gerenciais, página 44 - Receita e Consumo (2014). Acesso em 25/03/2016.
- BERMANN, Célio. Crise ambiental e as energias renováveis. *Ciência e cultura*. Volume 60. Nº 3. São Paulo, 2008.
- CALIXTO, Bruno. O que está errado com o Licenciamento Ambiental no Brasil. Disponível em: <<http://epoca.globo.com/ciencia-e-meio-ambiente/blog-do-planeta/noticia/2017/04/o-que-esta-errado-com-o-licenciamento-ambiental-no-brasil.html>>. Acesso em: 19 jun. 2017.
- DIVISÃO de Geração de Imagens. 2017. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/portugues/satelites.php>>. Acesso em: 07 mar. 2017.
- DE ALEMEIDA, Tati et al. Distorções e correção dos dados de imagem. In: MENESES, Paulo Roberto et al. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 82-102.
- DE ALMEIDA CARVALHO, Cláudio; DE ALMEIDA, Tati. Identificação de paliteiros e macrófitas do Reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães (TO) utilizando imagens R99SAR. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, p. 1-8, abr. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1710.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2017.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030. Rio de Janeiro: EPE/MME, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>.

- EMBRAPA. Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em:
<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>
- FEARNSIDE, M. Philip. Barragens na Amazônia 2: Hidrelétricas planejadas em longo prazo na Amazônia brasileira. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Manaus. 2013.
- FILHO, Ventura. O Brasil no contexto energético mundial. Núcleo de Análise Interdisciplinar de Políticas e estratégias da Universidade de São Paulo (USP). Brasília, 2009.
- FURNAS. Sistema Furnas de Geração e Transmissão. Usina Hidrelétrica. Disponível em: <http://www.furnas.com.br>. Acesso em 14/06/2016.
- GARCIA, Rafael. Após instalação de usinas, Rio Madeira tem a maior cheia de sua história. Folha de S. Paulo, Rondônia, 14 set. 2014. Ambiente, p. 2. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2014/09/1515787-apos-instalacao-de-usinas-rio-madeira-tem-a-maior-cheia-da-sua-historia.shtml>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- GOODWIN, Nicholas et al. (2005) “Assessing plantation canopy condition from airborne imagery using spectral mixture analysis and fractional abundances”. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, nº 7, 11-28.
- HIDROVIARIO. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/imprensa/download/Hidroviario.doc>>. Acesso em: 17 jun. 2017.
- IBAMA: <http://www.ibama.gov.br/licenciamento>. Acesso em 15/04/2016.
- IBAMA: https://www.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/ibama_parecer_032007.pdf. Acesso em 04/07/2017.
- IBGE: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=>. Acesso em 25/03/2016.
- IEA (International Energy Agency) Key World Energy Statistics, Paris, 2016.
- INPE: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1411 Acesso em 25/03/2016.
- JORNAL OGLOBO, 2014: <https://oglobo.globo.com/brasil/cheia-historica-do-rio-madeira-deixa-rastro-de-destruicao-12034876#ixzz4lFahzQFf>. Acesso em 15/06/2017.
- LILLESAND, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W. Remote sensing and interpretation. 5ed. Madison: Wiley, 2004. 763p.
- MENESES, Paulo Roberto; DE ALMEIDA, Tati. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. [S.l.: s.n.], 2012. 276 p.

- MINISTÉRIO PÚBLICO DE RONDÔNIA. PROCESSO N.º 6888-19.2012.4.01.4100. Tribunal de Justiça Federal de Rondônia.
- TOMALSQUIM T. Mauricio. Matriz Energética brasileira: uma prospectiva. Novos estudos, CEBRAP,nº 79. São Paulo. Novembro 2007.
- JANAINA. Cheia do Rio Madeira afeta Rondônia, Pará, Acre e Amazonas. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/2014-cheia-do-rio-madeira-afeta-rondonia-acre-e-amazonas/>>. Acesso em: 07 mar. 2017.
- PORTAL BRASIL: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/maior-parte-da-producao-de-energia-no-brasil-e-sustentavel>. Acesso em 04/06/2017.
- PORTAL G1,2014: <http://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2014/03/maior-cheia-do-rio-madeira-completa-um-mes-e-rio-continua-subir-em-ro.html>. Acesso em 15/05/2017.
- XAVIER BASTOS, Therezinha. O clima da Amazônia brasileira segundo Koppen. CPATU CENTRO DE PESQUISA AGROPECUARIA DO TRÓPICO ÚMIDO, Belém, Pará, p. 1-3, nov. 1982. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60116/1/CPATU-PA87.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2017.