



# EXPANSÃO DA GERAÇÃO

## ESTUDOS DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TROMBETAS

*SÍNTESE DOS ESTUDOS REALIZADOS*  
*Nota Técnica – Apêndice Cartográfico*

**Maio de 2020**



GOVERNO FEDERAL  
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
MME/SPE

**Ministério de Minas e Energia**

**Ministro**

Bento Albuquerque

**Secretário-Executivo do MME**

Marisete Fátima Dadald Pereira

**Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético**

Reive Barros

**Secretário de Energia Elétrica**

Rodrigo Limp Nascimento

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**

José Mauro Ferreira Coelho

**Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Alexandre Vidigal de Oliveira

# EXPANSÃO DA GERAÇÃO

## ESTUDOS DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TROMBETAS

*SÍNTESE DOS ESTUDOS  
REALIZADOS  
Nota Técnica – Apêndice*



Empresa de Pesquisa Energética

*Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.*

**Presidente**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais**

Giovani Vitória Machado

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**

Erik Eduardo Rego

**Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível**

Giovani Vitória Machado (interino)

**Diretor de Gestão Corporativa**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira (interino)

**Coordenação Geral**

Erik Eduardo Rego

**Coordenação Executiva**

Thiago Ivanoski Teixeira

**Equipe Técnica**

Felipe Moreira Gonçalves  
Maria Regina Toledo Capellão

URL: <http://www.epe.gov.br>

**Sede**

Esplanada dos Ministérios Bloco "U" Sala 744  
CEP: 70.065-900 - Brasília - DF

**Escritório Central**

Av. Rio Branco, 01 – 11º Andar  
20090-003 - Rio de Janeiro – RJ

**Nº. EPE-DEE-NT-103/2018-r1**

Maio de 2020

## IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO E REVISÕES



Empresa de Pesquisa Energética

Área de Estudo

**EXPANSÃO DA GERAÇÃO**

Estudo

**ESTUDOS DE PRÉ-INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO DA BACIA DO RIO TROMBETAS**

Macro-atividade

**SÍNTESE DOS ESTUDOS REALIZADOS**  
**Nota Técnica – Apêndice Cartográfico**

Ref. Interna (se aplicável)

Revisões	Data de emissão	Descrição sucinta
r0	28/12/2018	Emissão original
r1	12/05/2020	Revisão geral

---

## APRESENTAÇÃO

O objetivo deste Apêndice Cartográfico é complementar a Nota Técnica EPE-DEE-DEA-NT-007/2018 com informações técnicas dos Estudos Cartográficos realizados por meio dos contratos CT-EPE-020/2010 e CT-EPE-021/2010, firmados com a empresa Engefoto Engenharia e Aerolevante S.A, bem como apresentar os desenhos finais da base cartográfica e perfis da linha d'água dos rios da área de interesse dos Estudos de Inventário Hidrelétrico Bacia Hidrográfica do rio Trombetas.

A Nota Técnica EPE-DEE-DEA-NT-007/2018 apresenta, de forma sucinta, o histórico e a descrição dos estudos realizados pela EPE em toda a bacia hidrográfica do rio Trombetas, vinculados aos Estudos de Inventário Hidrelétrico.

Os Estudos Cartográficos dos contratos CT-EPE-020/2010 e CT-EPE-021/2010 tiveram como objetivo complementar o levantamento cartográfico realizado no contrato CT-EPE-028/2006, firmado com a Hydros Engenharia Ltda, executado por métodos aerofotogramétricos convencionais, que não foi concluído devido as dificuldades encontradas, entre elas densa vegetação, ausência de pontos foto identificáveis e negativas de acesso. Esses fatores justificaram a realização dos levantamentos cartográficos complementares por tecnologia LIDAR (Light Detection and Ranging) aerotransportado, que funciona por meio de perfilamento a laser juntamente com metodologia inovadora que reduziu drasticamente a necessidade de realização de serviço de campo.

As áreas de abrangência dos contratos CT-EPE-020/2010 e CT-EPE-021/2010 são a área complementar da bacia do Rio Trombetas e a área da bacia do Rio Erepecuru. No entanto, foi realizado perfilamento a laser em toda a área de estudo, incluindo a área original do contrato CT-EPE-028/2006 para que a base cartográfica desse contrato possa ser verificada.

Cabe destacar que os estudos cartográficos realizados no âmbito dos contratos CT-EPE-020/2010 e CT-EPE-021/2010, apresentaram resultados com qualidade muito superior a desejada para um mapeamento 1:10.000, de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, Classe A, de forma que serviram de referência para avaliar os dados altimétricos provenientes do levantamento original (contrato CT-EPE-028/2006 firmado com a Hydros), realizados por métodos aerofotogramétricos convencionais sem o levantamento de pontos de apoio nas áreas com cobertura vegetal. A comparação desses levantamentos revelou a ocorrência de diferenças altimétricas inaceitáveis (superiores a 30m em casos pontuais e superior a 5 metros, na maior parte da área) para uma base cartográfica 1:10.000. Os elementos planimétricos gerados no levantamento original, em especial a hidrografia dos rios principais, se apresentaram

---

compatíveis com o levantamento a Laser, o que não aconteceu com a hidrografia secundária.

Assim, para a composição da base cartográfica final dos estudos de inventário optou-se por descartar todos os dados altimétricos obtidos no levantamento por aerofotogrametria convencional (contrato CT-EPE-028/2006), substituindo-os pelas curvas de nível obtidas por perfilamento a laser (CT-EPE-020/2010 e CT-EPE-021/2010). Também foram descartadas hidrografias secundárias geradas pelo levantamento aerofotogramétrico, pois não estavam em conformidade com as curvas de nível laser. Desse modo na área do levantamento original na bacia do Rio Trombetas é apresentado a hidrografia apenas dos rios principais com as curvas de nível do perfilamento a laser, mantendo apenas os rios principais.

As bases cartográficas finais das áreas do estudo localizadas na bacia do Rio Erepecuru e na área complementar da bacia do Rio Trombetas, apresentadas anexas a este documento, são integralmente oriundas dos dados planialtimétricos gerados pelo levantamento da Engefoto (contratos CT-EPE-020/2010 e CT-EPE-021-2010). As bases cartográficas dos levantamentos original e complementar foram compatibilizadas entre si e são apresentadas anexas a este documento.

Os perfis de linha d'água dos rios principais da bacia do rio Trombetas a montante da foz do rio Erepecuru são oriundos do levantamento GNSS realizado pela Hydros no contrato CT-EPE-028/2006 (rios Cachorrinho, Cachorro, Caxipacoro, Mapuera, Trombetas e Turuna), enquanto que o perfil de linha d'água do rio Erepecuru foi gerado pela Engefoto utilizando os dados do perfilamento a laser (contrato CT-EPE-020/2010).

Este Apêndice Cartográfico apresenta informações complementares dos levantamentos e estudos cartográficos realizados a laser, incluindo a metodologia utilizada e testes para validação da metodologia, dos resultados do mapeamento cartográfico e da obtenção do perfil de linha d'água, bem como os resultados da verificação do levantamento por aerofotogrametria convencional da bacia do rio Trombetas a montante da foz do rio Erepecuru realizado pela Hydros. São também apresentados neste documento os desenhos finais da base cartográfica e dos perfis longitudinais das linhas d'água dos rios principais.

---

## Sumário

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA .....</b>	<b>9</b>
<b>3. REFERENCIAL GEODÉSICO E PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
<b>4. CARACTÉRISTICAS DA ÁREA DE TRABALHO.....</b>	<b>12</b>
<b>5. HISTÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>6. METODOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
6.1. Descrição .....	16
6.2. Validação – Testes Realizados.....	17
<b>7. RESULTADO DO LEVANTAMENTO.....</b>	<b>22</b>
7.1. Aerolevantamento .....	22
7.2. Aerotriangulação .....	24
7.3. Restituição.....	25
7.4. Análise dos Resultados.....	26
<b>8. BASE CARTOGRÁFICA.....</b>	<b>31</b>
<b>9. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>
<b>10. ANEXOS – DESENHOS GERADOS.....</b>	<b>36</b>
10.1. Anexo 1 – Bacia do Rio Erepecuru .....	36
10.2. Anexo 2 – Bacia do Rio Trombetas, a montante da foz do Rio Erepecuru .....	36

---

## 1. INTRODUÇÃO

Em setembro de 2006, após todos os trâmites inerentes ao processo licitatório na modalidade concorrência do tipo menor preço global, foi assinado o Contrato nº EPE-028/2006 com a HYDROS Engenharia Ltda., para desenvolvimento dos Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Trombetas, que incluem os estudos cartográficos da área de interesse.

A empresa Contratada se deparou com diversas dificuldades durante os levantamentos e estudos que concorreram para atrasos na sua realização e acabaram por impedir sua conclusão. Entre as dificuldades estavam: as precárias condições dos acessos; a falta de condições climáticas favoráveis para o voo, que atrasaram a sua conclusão; as suspensões/negativas de autorizações de ingresso e trânsito nas áreas com restrição legal de acesso para a execução dos serviços de campo; cobertura vegetal com predominância de floresta ombrófila densa e a impossibilidade de supressão de vegetação para realização de pontos de apoio; e a inexistência de feições planimétricas visíveis fora das margens dos rios principais, entre outros.

Essas dificuldades juntamente com as críticas, por parte dos técnicos da EPE, à qualidade técnica dos produtos e serviços, levaram à extinção do contrato sem a conclusão dos estudos. O contrato CT-EPE-028/2006 foi extinto na data do término de sua vigência (17/05/2008) sem a conclusão dos estudos, não havendo prorrogação diante da recusa da contratada em assinar aditivo de prazo. O encerramento definitivo, no entanto, se deu após resolução de pendências judiciais (Processo nº 2008.34.00.023308-2) por meio de Acordo Judicial em 04/02/2009.

De modo a complementar os levantamentos até então realizados, em 27 de julho de 2010, após todos os trâmites inerentes aos processos licitatórios, na modalidade concorrência do tipo menor preço global, foram assinados os Contratos nº EPE – 020/2010 e nº EPE – 021/2010 com a empresa Engefoto Engenharia e Aerolevantamentos S.A. para elaboração do mapeamento planialtimétrico da área de interesse do Inventário da bacia do rio Erepecuru e para o mapeamento complementar das áreas de interesse da sub-bacia do rio Trombetas a montante do rio Erepecuru, respectivamente. Cabe observar que na sub-bacia do rio Trombetas a montante da foz do rio Erepecuru, fez parte dos serviços contratados o recobrimento por meio de perfilamento a laser de toda a área do estudo, para avaliação da qualidade da base cartográfica existente (HYDROS) e validação dos produtos finais gerados.

A tecnologia utilizada em ambos os levantamentos foi o perfilamento a laser, que se trata de um sistema ativo capaz de obter dados geoespaciais sob densa cobertura vegetal, ideal para região considerando as condições de vegetação e as condições

---

restritivas de acesso às áreas protegidas, de rastreamento de pontos de apoio e para o traçado de seções em campo.

A utilização dessa tecnologia permitiu minimizar os serviços de campo e obter dados altimétricos com precisão compatível com o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, Classe “A” para a escala 1:10.000, de acordo com a Legislação Vigente (Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984).

O resultado desse levantamento determinou a utilização dos dados altimétricos laser obtidos em toda a área de estudo devido as diferenças encontradas em relação ao do levantamento original (contrato CT-EPE-028/2006 com a HYDROS), que foram descartados.

Os estudos cartográficos do Estudo de Inventário da Bacia do rio Trombetas, incluindo o rio Erepecuru, cobrem uma área de aquisição de dados altimétricos via perfilamento a laser de 7.434 km<sup>2</sup> e incluem base cartográfica planialtimétrica, perfil de linha d’água dos principais cursos d’água, ortofotos e mapa hipsométrico.

---

## 2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia hidrográfica do rio Trombetas, contribuinte da margem esquerda do rio Amazonas, fica situada no estado do Pará, na mesorregião do baixo Amazonas, e é constituída, basicamente, pela sub-bacia do rio Trombetas a montante da foz do rio Erepecuru, localizada a jusante do Porto Trombetas, e a bacia do rio Erepecuru.

Essas duas sub-bacias drenam uma área, imediatamente acima da foz do rio Erepecuru, de aproximadamente 125.285 km<sup>2</sup>.

A área de perfilamento a laser totalizou 7.434 km<sup>2</sup>, e fica localizada em sua totalidade no município de Oriximiná- PA e inclui os rios Trombetas, Erepecuru, Mapuera, Cachorro, Cachorrinho e Turuna. A Figura 1 ilustra as áreas de estudo na bacia do rio Trombetas e os locais de restrição legal da região.

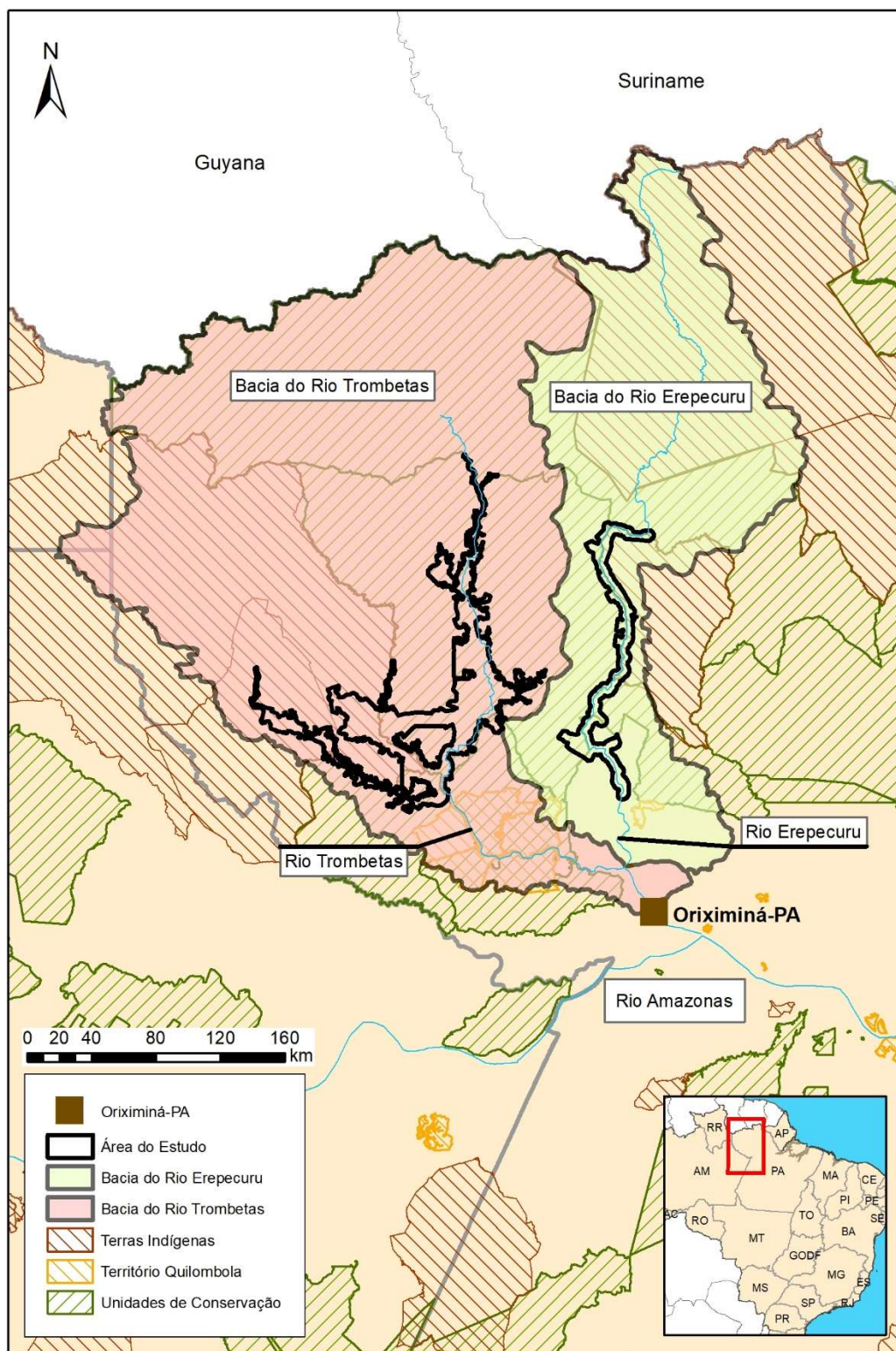


Figura 1: Mapa de localização da área do estudo e áreas de proteção legal na época dos estudos cartográficos (2006 a 2013)

---

### **3. REFERENCIAL GEODÉSICO E PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA**

O sistema geodésico adotado nesse estudo foi o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), que é o datum horizontal oficial do Brasil desde fevereiro de 2000. A projeção cartográfica adotada foi a Universal Transversa de Mercator (UTM) no fuso 21S.

Todos os dados altimétricos apresentados têm como referência o datum de Imbituba. As altitudes elipsoidais obtidas foram reduzidas ao geoide pelo software MAPGEO2010 (mapa geoidal, elaborado e disponibilizado pelo IBGE).

---

## 4. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE TRABALHO

A área de estudo é coberta em sua totalidade por restrições legais, seja por terras indígenas, unidades de conservação, território quilombola ou em alguns casos a sobreposição de mais de um tipo de restrição no mesmo local como pode ser observado na Figura 2.

O acesso para as sedes dos municípios mais próximos da área de estudo Oriximiná – PA e Óbidos – PA é bastante precário, sendo realizado preponderantemente por via fluvial por meio de rios com frequentes ocorrências de quedas, corredeiras e cachoeiras. O acesso dessas cidades pode ser feito pelas rodovias estaduais PA-254 e PA-419, que interligam as cidades na margem esquerda do rio Amazonas, porém sem possibilidade de conexão direta com a malha rodoviária nacional, situada ao sul da margem direita do rio Amazonas. O aeroporto mais próximo está situado na própria cidade de Oriximiná, a 80 km da área de estudo e conta com poucos voos semanais a partir de Belém.

A bacia do rio Trombetas é ocupada pela Floresta Ombrófila Densa, que é um tipo de vegetação bastante fechada cujas árvores têm altura média da ordem de 35 metros. A pluviosidade da região é de 2.000 mm a 2.500 mm anuais, com estiagem entre os meses de outubro e dezembro, mas mesmo nesse período há ocorrências de instabilidades climáticas.

A rede oficial de apoio básico do IBGE é pouco densa na região, sendo que os poucos marcos existentes estão distantes da área do projeto. O ponto GPS mais próximo dista cerca de 80 km e o marco RN mais próximo se encontra a uma distância aproximada de 150 km, ambos em relação ao limite da área do projeto. A estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) mais próxima é a de Santarém localizada a mais de 300 km da área de projeto. A Figura 4.1 ilustra os acessos e a localização dos marcos da rede oficial de apoio básico da região.

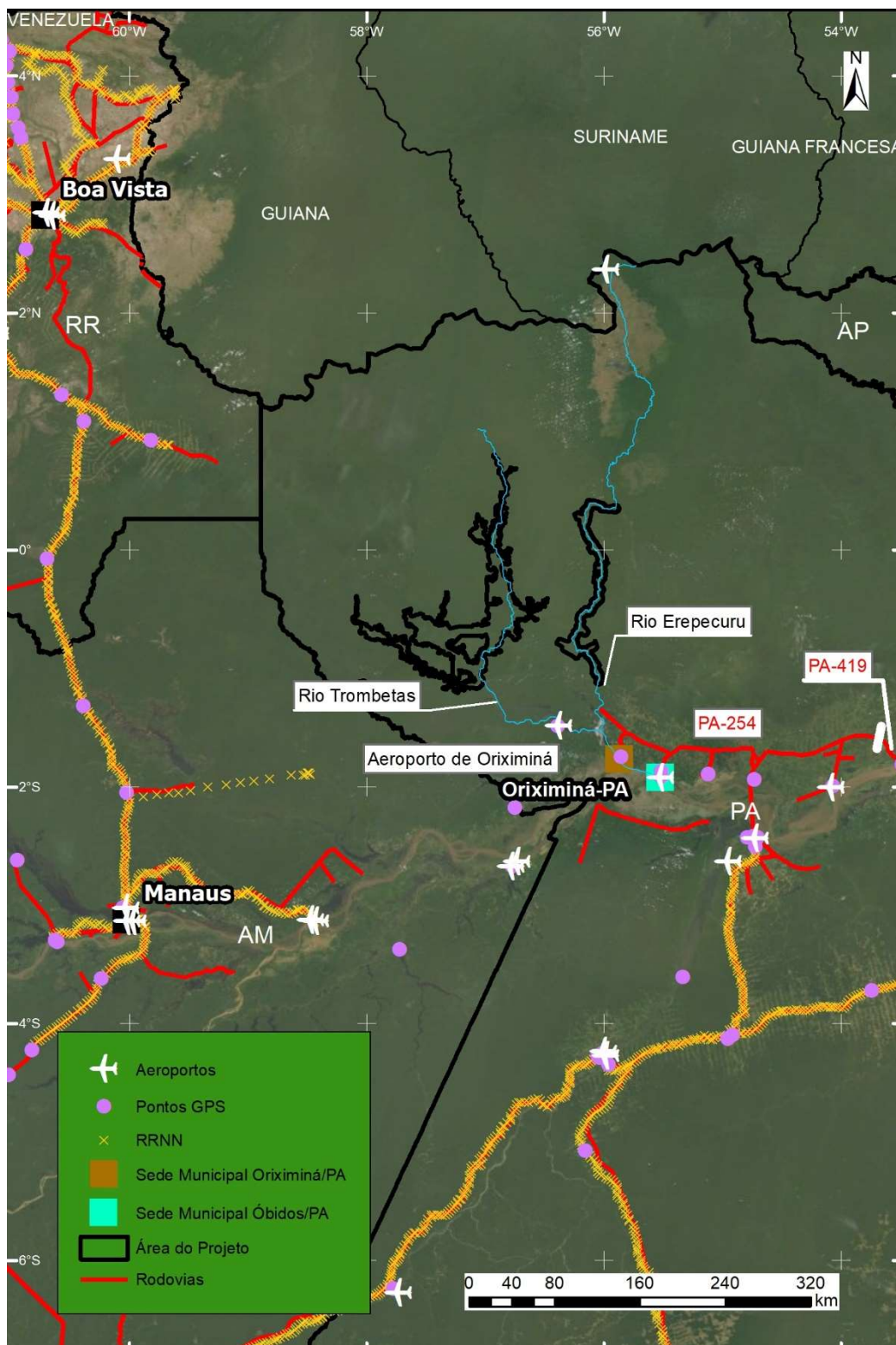


Figura 2: Acessos e pontos de apoio básico da região

---

## 5. HISTÓRICO

Após o devido processo licitatório a EPE contratou, em 25 de setembro de 2006, a empresa Hydros Engenharia Ltda (CT-EPE-028/2006) para a realização do Estudo de Inventário Hidrelétrico das bacias do rio Trombetas que incluía estudos cartográficos, hidrométricos, geológicos, ambientais e energéticos.

Os estudos cartográficos previstos nesse contrato envolveram levantamento aerofotogramétrico utilizando técnicas de fotogrametria de restituição clássicas, que por se tratar de um sistema passivo de aquisição de dados seria um grande desafio considerando as características da vegetação da área do projeto.

Durante a execução do projeto, diversos obstáculos afetaram o cronograma das atividades como a falta de condições climáticas favoráveis, que atrasou a conclusão do voo aerofotogramétrico, as negativas e suspensões de autorizações de ingresso nas áreas protegidas para execução dos serviços de campo, a impossibilidade de supressão de vegetação e inexistência de feições planimétricas visíveis nas fotografias aéreas fora das margens dos rios principais. Esse último fator também afetou negativamente a qualidade dos resultados apresentados.

Esses obstáculos impediram a conclusão dos levantamentos, o que resultou na extinção do contrato em maio de 2008. Até essa data foram realizados o mapeamento cartográfico 1:10.000 da bacia do rio Trombetas, excluída a sub-bacia do rio Erepecuru, recobrimento aerofotogramétrico 1:30.000, com sistema GNSS, rastreio de pontos de apoio GNSS para o voo aerofotogramétrico apenas ao longo dos rios principais, aerotriangulação, restituição, perfil de linha d'água dos principais cursos d'água por levantamento GNSS e geração de ortofotos com precisão compatível a escala 1:10.000, restituição de folhas na escala 1:25.000 de toda a área do projeto, seções topobatimétricas ao longo de oito aproveitamentos pré-selecionados na bacia do rio Trombetas e perfis de linha d'água dos principais cursos d'água. Em decorrência das negativas dos Quilombolas para ingressar à região da sub-bacia do rio Erepecuru, nesse local foi realizado apenas o recobrimento aerofotogramétrico.

Como os levantamentos não puderam ser concluídos e o contrato havia sido suspenso, verificou-se a necessidade de complementação da base cartográfica. No entanto, alguns fatores relativos às características da área a ser levantada tiveram que ser considerados como a dificuldade de execução e conclusão do levantamento cartográfico por meio de técnica de restituição fotogramétrica convencional em uma região sem pontos foto identificáveis, a necessidade de aquisição de dados geoespaciais, sobretudo altimétricos, sob a cobertura vegetal, as condições restritivas ao rastreio de pontos de apoio e traçado

---

de seções em campo e as negativas de acesso às áreas de restrição legal (unidades de conservação, terras indígenas e comunidade quilombolas).

Esses fatores apontaram para a necessidade de prever para a contratação da complementação cartográfica do estudo, uma metodologia de aquisição de dados que reduza significativamente a necessidade da realização de serviços de campo, e que principalmente, aumente a precisão do mapeamento, especialmente em áreas de densa cobertura vegetal.

Esses critérios só poderiam ser satisfeitos com a utilização de um sistema ativo de aquisição de dados, ou seja, que é capaz de penetrar a cobertura vegetal, além de reduzir o serviço de campo e melhorar a precisão do levantamento. As tecnologias de perfilamento a Laser (LIDAR) e RADAR foram escolhidas como pré-requisito na nova licitação, pois são sistemas ativos de captação de dados e estavam começando a estar disponíveis na época da contratação da complementação do levantamento, em 2010.

Devido às incertezas na ocorrência de condições climatológicas propícias à aquisição de dados cartográficos e às dificuldades na obtenção das autorizações de entrada nas terras protegidas, decidiu-se por fazer duas contratações de complementação da base cartográfica, uma para a bacia do rio Erepecuru (CT-EPE-020/2010) e outra para a bacia do rio Trombetas (CT-EPE-021/2010). A empresa Engefoto foi a vencedora de ambas as concorrências.

Os serviços contratados para a complementação da base cartográfica na **bacia do rio Trombetas, a montante da foz do Erepecuru** compreenderam recobrimento aerofotogramétrico digital da área complementar (1.718 km<sup>2</sup>) na escala de voo 1:30.000, aquisição de dados altimétricos via perfilamento a Laser de toda a área de interesse do Estudo de Inventário dessa sub bacia (5.541 km<sup>2</sup>), verificação da base cartográfica gerada pela Hydros (CT-EPE-028/2006), geração de base cartográfica planialtimétrica na escala 1:10.000 com curvas de níveis com equidistância de cinco metros, geração de ortofotos na escala 1:10.000 e compatibilização entre as bases cartográficas.

Na **sub-bacia do rio Erepecuru**, os serviços contratados abrangeram integralmente a área de estudo (1.893 km<sup>2</sup>) e envolveram aquisição de dados altimétricos para a geração da base cartográfica 1:10.000 por meio de perfilamento a laser, levantamento planialtimétrico do perfil de linha d'água do rio Erepecuru, geração de curvas de níveis com equidistância de 5 metros, aerotriangulação e restituição estereofotogramétrica planimétrica a partir das aerofotos existentes e geração de ortofotos na escala 1:10.000 a partir das aerofotos existentes.

---

## 6. METODOLOGIA

### 6.1. *Descrição*

Considerando que as condições locais não permitiam a entrada em campo para a realização de levantamentos de apoio e validação da base cartográfica, a Engefoto apresentou à EPE uma proposta alternativa de metodologia de trabalho, incluindo testes para sua validação, para aplicação nos levantamentos da bacia do rio Erepecuru e do rio Trombetas, que reduz drasticamente a necessidade de realização de serviços de campo.

Essa proposta de metodologia envolveu a utilização de georreferenciamento direto pelo método GNSS de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) juntamente com sistema de navegação inercial (INS) e a realização de três aerolevantamentos de perfilamento a laser em diferentes alturas: um voo para o mapeamento geral a 2500 metros, faixas transversais para controle de penetração do laser a 1000 metros e faixas de validação destinadas a fornecer pontos de apoio suplementar ao recobrimento fotogramétrico (pontos HV e de Controle de Qualidade) a 1200 metros.

O controle de qualidade do perfilamento a laser envolveu a comparação dos pontos do voo alto (2.500 m) usados para a confecção da base cartográfica com os pontos das faixas de voo baixo (1.000 m) designadas exclusivamente para o controle de qualidade. O parâmetro de comparação altimétrico utilizado foi a classe A do Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC), que é um indicador estatístico de dispersão criado pelo decreto lei 89.817/1984, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. Para receber essa classificação, a base cartográfica deve ter a probabilidade de 90% de um ponto selecionado tenha exatidão altimétrica melhor que metade da equidistância da curva de nível.

De modo a evitar a realização de serviços de campo, o perfil de linha d'água do rio Erepecuru, foi obtido de forma indireta, utilizando o perfilamento a laser do voo alto (2500 m). Para a validação desse método foram efetuadas verificações em área teste no rio Trombetas, em local com acesso permitido, por meio de comparação dos dados obtidos por voo alto (2500m) com dados obtidos por levantamento GNSS. Os resultados obtidos comprovaram que esse método apresenta grau de aderência adequado à superfície de linha d'água do rio, sendo, portanto, adequado para esse fim.

Além de se evitar entrada em campo, esse método de obtenção do perfil de linha d'água é vantajoso em relação ao serviço de campo, pois é um subproduto da cobertura a laser feita na área do projeto, que permite identificar e caracterizar cachoeiras e corredeiras de forma praticamente contínua e permite que, em um único dia, sejam coletados um

---

grande volume de dados, diferentemente do levantamento topográfico, o que torna o resultado mais confiável devido a variação natural do nível do rio ao longo do tempo.

A descrição e os resultados dos testes que validaram as metodologias utilizadas para a validação da penetração do laser e para a obtenção dos perfis de linha d'água dos rios, são apresentados detalhadamente a seguir.

## **6.2. Validação – Testes Realizados**

A metodologia apresentada foi validada mediante a realização dos testes de penetração do laser e de validação do perfil de linha d'água obtido dos dados laser.

### *a. Testes de Penetração do Laser*

O teste de validação da penetração do laser consistiu na aplicação da metodologia em uma área teste com características similares à área do projeto com controle de qualidade realizado por meio de levantamento topográfico. Foi selecionada a área próxima ao aeroporto de Oriximiná que apresenta densa vegetação.

Os serviços realizados envolveram levantamento de pontos altimétricos por seção topográfica mediante transporte planialtimétrico de precisão, gerando o conjunto de pontos Zcampo, geração de dois conjuntos Zlaser de MDTs com 0,05 pontos por metro obtidos por perfilamento do voo alto (2500 metros) e baixo (900 metros) e, por fim, cálculo das diferenças altimétrica nos 912 pontos homólogos dos conjuntos Zcampo e Zlaser.

A seção topográfica que gerou o conjunto Zcampo teve como ponto de partida dois marcos geodésicos cujas coordenadas foram transportadas a partir de uma estação da RBMC para área teste a partir de levantamento geodésico estático. Dessa forma, foi necessário a redução das altitudes geométricas obtidas para o geoide a partir do modelo geoidal do IBGE MAPGEO 2010.

A Figura 3 apresenta a imagem de satélite da área teste com linha amarela indicando o caminamento da seção topográfica.

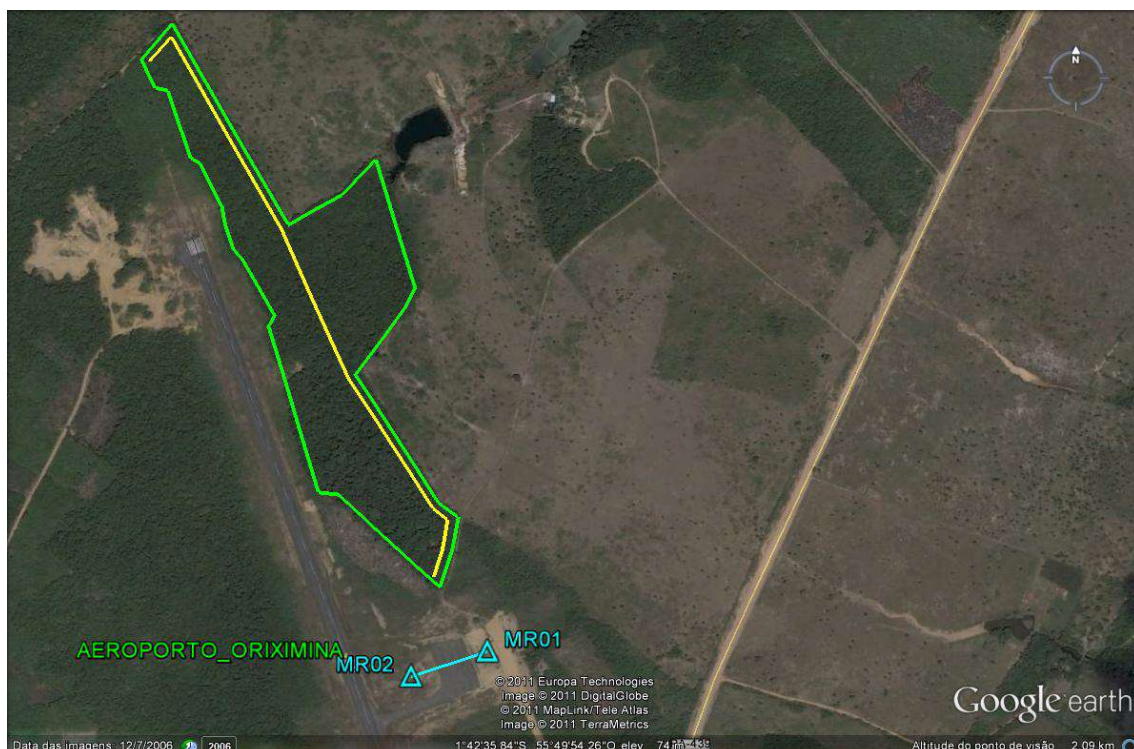


Figura 3: Seção Topográfica na área teste

O resultado da comparação entre os conjuntos Zcampo e Zlaser foi analisado considerando o estabelecido pelo PEC<sup>1</sup>. O quadro a seguir mostra que ambos os voos foram testados e aprovados para a escala 1:5.000, sendo classe A segundo o PEC para a escala 1:3.000 no voo alto e para a escala 1:2.000 no voo baixo.

ALTURA DE VOO (m)	EQUIDISTÂNCIA PADRÃO (m)	PARÂMETRO ADOTADO    (Zcampo - Zlaser)    (m)	Nº DE PONTOS APROVADOS	PORCENTAGEM M (%)	ESCALA	PEC
900	2	1	912	<b>100</b>	1:5000	<b>A</b>
900	1	0,5	875	<b>95,9</b>	1:2000	<b>A</b>
2500	2	1	910	<b>99,8</b>	1:5000	<b>A</b>
2500	1,5	0,75	860	<b>94,3</b>	1:3000	<b>A</b>

Como parte da validação do teste da penetração do laser, foi realizada a análise da precisão do teste estatístico Chi-Quadrado ( $X^2$ ) para os dados levantados. Para

<sup>1</sup> PEC – **Padrão de Exatidão Cartográfico**: indicador estatístico de dispersão que define a exatidão de trabalhos cartográficos e tem como critério para a altimetria que noventa por cento dos pontos isolados de altitudes, quando testados no terreno, não podem apresentar erro superior à metade da equidistância da curva de nível

aprovação da precisão dos pontos selecionados é necessário que se comprove o teste de hipótese que considera estatisticamente igual o desvio padrão da amostra com o desvio padrão esperado. Para tal o valor do Chi-Quadrado ( $X^2$ ) calculado deve ser menor que o seu valor tabelado. O quadro a seguir mostra que os resultados do levantamento foram aprovados pelo teste estatísticos.

Altitude de Voo (m)	Erro Padrão (m)	Graus de Liberdade	Equidistância Curva (m)	Desvio Padrão (m)	$X^2$ tabelado	$X^2$ calculado	Escala	PEC
900	0,333	911	1	0,169	966,11	470,65	1:2000	A
2500	0,5	911	1,5	0,243	966,11	430,07	1:3000	A

Portanto, o teste de validação de penetração do laser concluiu que a acurácia altimétrica obtida pelo MDT gerado pelo voo baixo pode ser classificada como PEC classe A na escala 1:2.000, enquanto o MDT gerado pelo voo alto pode ser classificado como classe A na escala 1:3.000. Dessa forma, está comprovada a possibilidade de atestar a qualidade do MDT do voo alto por meio de faixas de validação do MDT do voo baixo em um Estudo de Inventário, que exige precisão da base cartográfica compatível com a escala 1:10.000.

b. Teste para validação do perfil de linha d'água laser

O teste de validação do perfil de linha d'água obtido dos dados laser ocorreu na proximidade da cidade de Oriximiná – PA onde foi gerado um MDT com 0,05 pontos por metro quadrado a partir de perfilamento a laser com voo alto (2500 m) formando o conjunto de pontos Zlaser. Na mesma região foi realizado perfil de 10 km do rio Trombetas por levantamento GNSS de posicionamento diferencial cinemático gerando o conjunto de pontos Zcampo.

A Figura 4 apresenta os locais de realização do perfil de linha d'água representado por uma linha amarela e de perfilamento a laser representado por um polígono rosa.



Figura 4: Localização do perfil de linha d'água realizado

Todas as altitudes geométricas obtidas foram reduzidas ao geóide pelo modelo do IBGE MAPGEO 2010 possibilitando o cálculo das diferenças altimétricas de 871 pontos homólogos dos conjuntos Zcampo e Zlaser. A Figura 5 apresenta os pontos obtidos pelo perfilamento a laser, em rosa, e pelo levantamento GNSS, em verde.

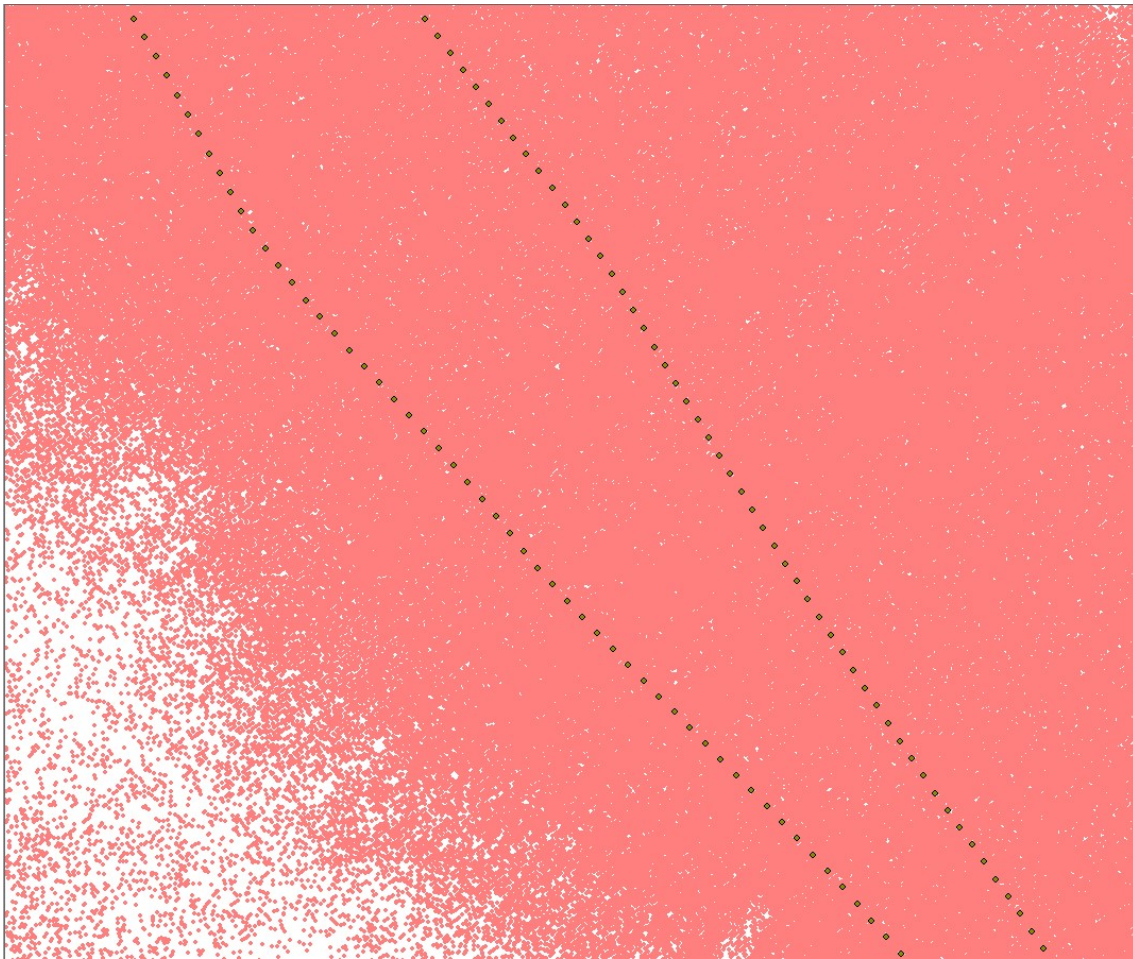


Figura 5: Pontos obtidos pelo perfilamento a laser e pelo levantamento GNSS

O resultado dessa comparação foi realizado considerando a diferença máxima permitida para a escala 1:2.000 do PEC classe A que é de 0,5 metros. Conforme demonstra o quadro apresentado a seguir, todos os pontos testados foram aprovados dentro desse critério.

Altitude de Voo (m)	Valor Máximo (cm)    (Zcampo - Zlaser)	Nº De Pontos	Porcentagem(%)	Escala
2500	50	874	100	1:2.000

O teste concluiu que o MDT gerado apresenta grau de aderência adequado à superfície de linha d'água do rio e, portanto, a utilização de perfilamento a laser é um método adequado, considerando a precisão exigida nesse tipo de estudo para a obtenção de perfil de linha d'água.

## 7. RESULTADO DO LEVANTAMENTO

### 7.1. Aerolevantamento

Entre agosto e outubro de 2012 foram realizados os voos aerofotogramétricos e de perfilamento a laser de modo a adquirir os dados para a geração da base cartográfica utilizando a metodologia aprovada. As Figura 6 e 7 mostram os locais dentro da área de estudo que foram realizadas faixas do voo médio para apoio suplementar e do voo baixo para o controle de qualidade.

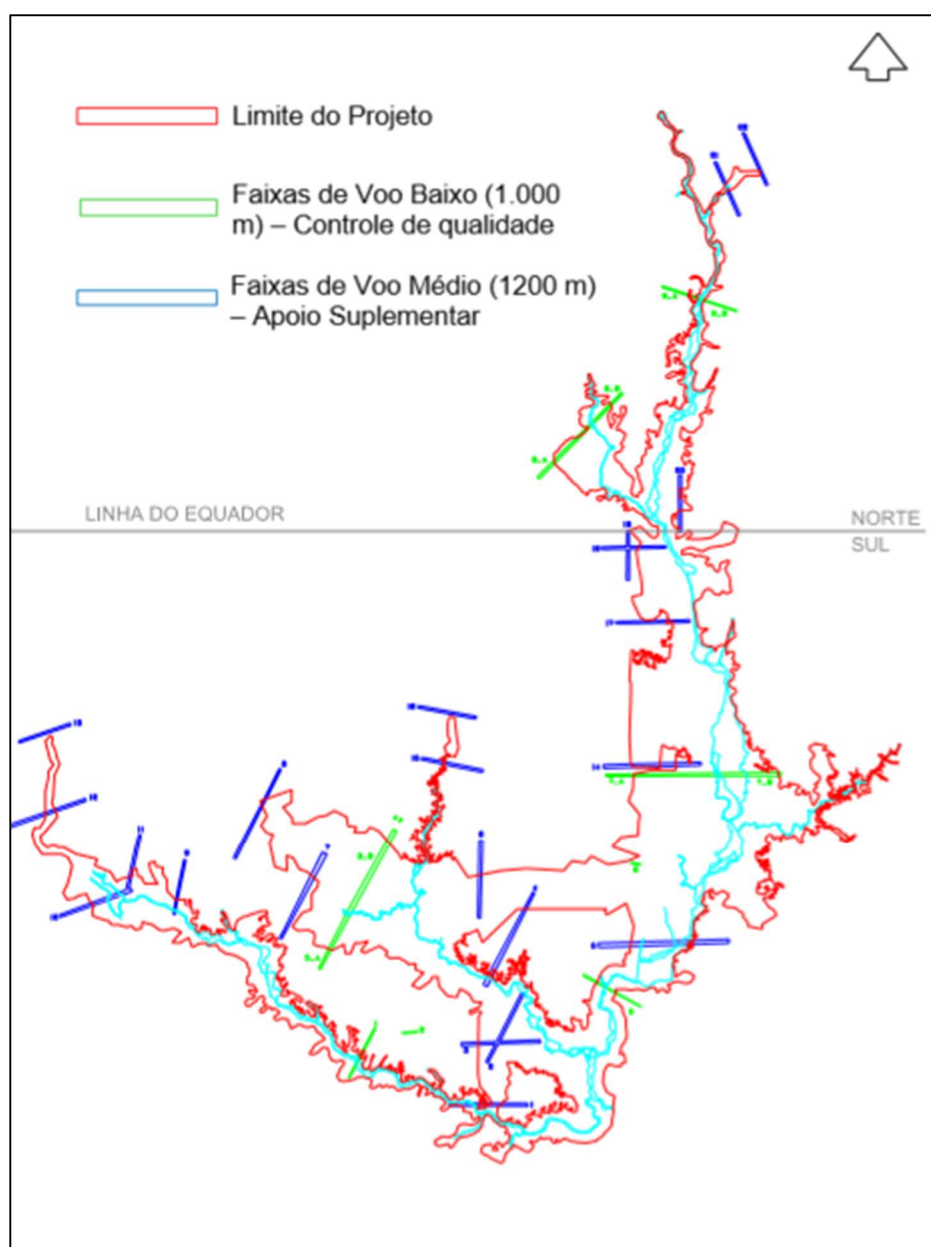


Figura 6: Localização das faixas dos voos baixo e médio na bacia do rio Trombetas, a montante da foz do rio Erepecuru

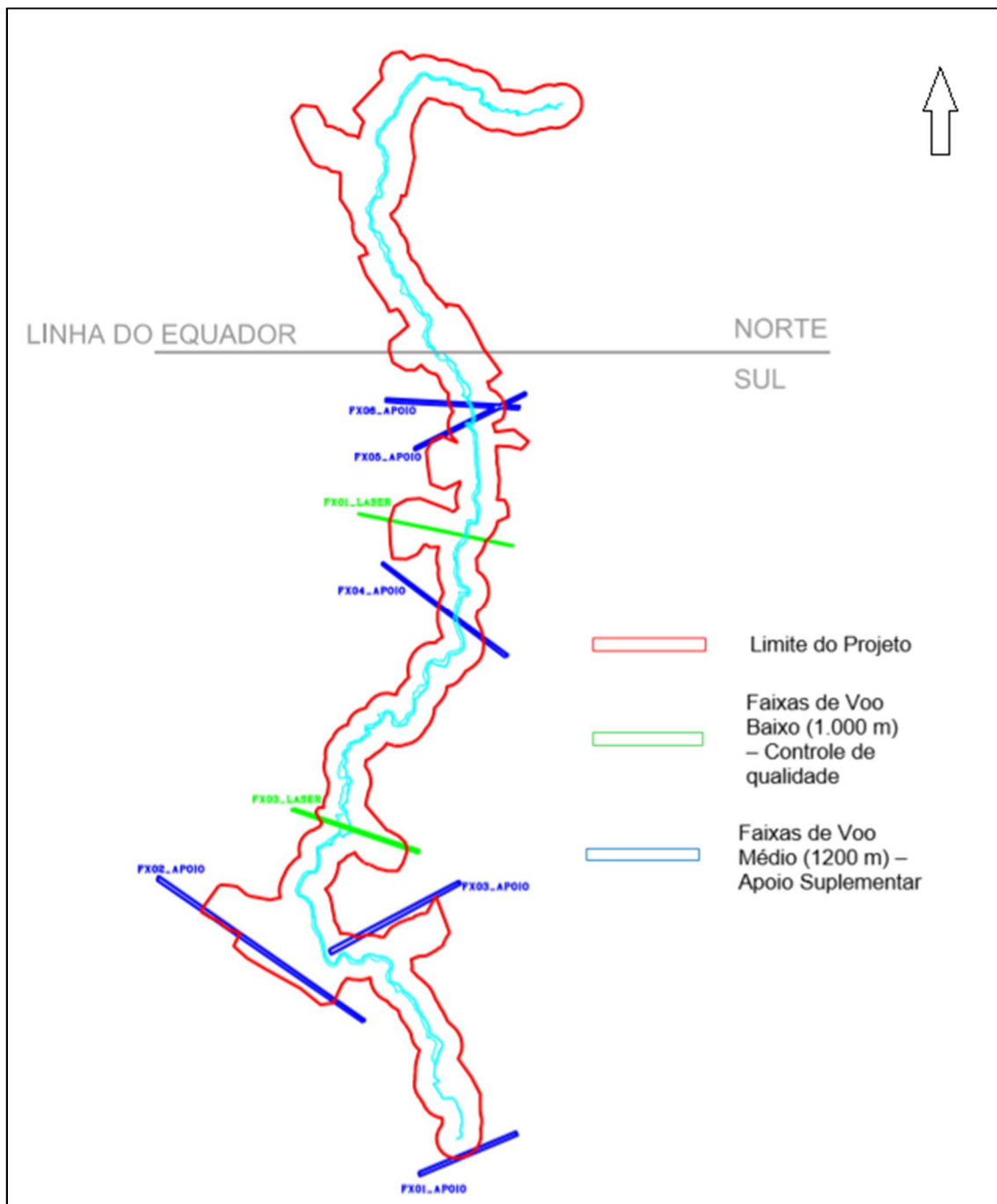


Figura 7: Localização das faixas dos voos baixo e médio na bacia do rio Erepecuru

Para a realização dos levantamentos foram utilizados os sensores de perfilamento a laser ALTM GEMINI (Optech) e ALS 50 (Leica), o sistema de posicionamento e orientação POS AV 510 OEM (Applanix) e as aeronaves Navajo, Cessna e Seneca.

Previamente à execução da cobertura aérea e aquisição dos dados laser, os equipamentos (Inercial e GNSS) que compõe o sistema LIDAR foram devidamente calibrados e ajustados, de modo a garantir os resultados da missão de acordo com as precisões e especificações estabelecidas para o projeto.

---

A voo de varredura não foi executado em dias com chuva, garoa, neblina ou com ocorrência de nuvens, nem altura inferior à altura prevista de voo de modo a garantir o sucesso das aquisições de dados, devidamente registradas pelas operações.

O processamento dos dados brutos foi realizado por meio da técnica PPP (Precise Point Precision) utilizando o programa POSPac MMS 5.3 (Applanix) onde foi obtida a melhor trajetória de voo.

O recobrimento aerofotogramétrico teve como tamanho do pixel (GSD) de 30 centímetros. A escala da fotografia foi de 1:30.000 e teve como sobreposição longitudinal e lateral de 61% e 31%, respectivamente.

O voo do perfilamento a laser, que é capaz de penetrar na vegetação, capturando o primeiro e último pulso, foi realizado com um receptor GNSS de dupla frequência acoplado a aeronave processado com efemérides precisas. Por meio do pós-processamento, medidas laser com seus respectivos ângulos, dados GNSS e de navegação inercial combinados foi possível determinar a posição dos pontos varridos na superfície terrestre.

O planejamento do voo laser teve por base a penetração na área de floresta correspondente a uma densidade mínima de um ponto a cada 20 m<sup>2</sup> no modelo digital de terreno (MDT), registro da intensidade e precisão planialtimétrica compatível a escala 1:10.000 da classe A do PEC. Para atingir esses objetivos, considerou-se as condições naturais da área mapeada (cobertura vegetal e morfologia do terreno) e as condições técnicas de operacionalidade do perfilamento a laser (altura de voo, frequência, ângulo de abertura do scanner, direção das faixas de voo, normas de segurança no emprego de dispositivos lasers, densidade de pontos, etc.).

## **7.2.     *Aerotriangulação***

De modo a adensar os pontos de controle das imagens aéreas foi realizado o processo de aerotriangulação que tem objetivo de fornecer coordenadas precisas aos pontos necessários para a orientação absoluta de modelos fotogramétricos, visando à execução das etapas de restituição e elaboração de ortofotos.

Uma etapa necessária para o processo de aerotriangulação é a coleta de pontos fotogramétricos medidos na imagem. Todas as coordenadas dos pontos inclusive das marcas fiduciais foram medidas no referencial da imagem e depois transformadas para o referencial fotogramétrico por meio de uma transformação Afim Geral, visando corrigir todos os parâmetros de distorção da câmera utilizada. Foi necessária a medição de, no mínimo, um ponto fotogramétrico em cada área dos pontos de Von Gruber.

---

Os pontos de controle planialtimétrico utilizados no processo de aerotriangulação foram extraídos do MDT do levantamento a laser e denominados HV. O método de ajustamento da aerotriangulação adotado foi o Simultâneo de Feixes Perspectivos utilizando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e considerando como injunções a posição aproximada do centro de perspectiva das fotografias e os pontos de controle.

O critério de análise da qualidade da aerotriangulação foi estabelecido a partir das tolerâncias previstas no Decreto 89.817 para o PEC classe A na escala 1:10.000. Para analisar os resultados obtidos na aerotriangulação, foram adotados valores equivalentes à 1/3 e 1/2 das tolerâncias planimétrica e altimétrica apresentadas acima, o que representa 1,70m na planimetria e 1,25m na altimetria.

Comprovou-se que parte dos pontos fotogramétricos apresentaram diferenças superiores à 1,25 metro. Em uma análise individual de cada ponto se constatou que correspondem à pontos fotogramétricos medidos em detalhes na fotografia aérea que se encontram modificados nos dados laser. Esta diferença se dá devido ao intervalo de tempo existente entre os voos fotogramétrico e laser e por se tratar de uma área não consolidada, isto é, passível de modificações.

Os pontos fotogramétricos e os pontos de controle que apresentaram diferenças inferiores a 1,25 metro também foram analisados individualmente de modo a confirmar dentro do limite esperado.

Como o MDT classificado atingiu uma densidade de 0,05 pontos/m<sup>2</sup>, foi possível representar de forma precisa (para a escala de mapeamento) a superfície do terreno. Assim, para a análise da consistência planimétrica foram confrontadas as hidrografias em áreas acidentadas utilizando as imagens hipsométricas e as curvas de nível geradas. Os vetores extraídos foram verificados em estação estereofotogramétrica juntamente com as curvas de nível geradas. A análise foi feita através da consistência dessas informações juntamente com o modelo orientado.

### **7.3.     *Restituição***

A restituição estereofotogramétrica foi executada na escala 1:10.000, onde foram compiladas as feições planimétricas e os pontos cotados. Foram utilizadas para a restituição convencional, estações fotogramétricas digitais equipadas com o sistema Geokosmos – GeoCompiler SI. Optou-se pela representação da restituição em folhas articuladas na escala 1:25.000, com o objetivo de reduzir a quantidade de folhas e facilitar o seu manuseio. A despeito das folhas terem sido articuladas nessa escala, a restituição estereofotogramétrica apresenta precisão compatível com mapeamentos na escala 1:10.000.

---

Na edição gráfica foram efetuadas as complementações, junções e recortes dos arquivos digitais gerados na etapa de restituição de forma a gerar os produtos finais, consistidos e validados. Após finalização dos arquivos digitais, foi feito o controle de qualidade sendo observados os seguintes itens:

- Verificação em tela, nos arquivos vetoriais dos modelos, da qualidade da compilação dos elementos de representação, conforme as especificações técnicas e a tabela de camadas estabelecida para o projeto, anotando nos próprios arquivos digitais os problemas encontrados;
- Verificação e compatibilização das entidades restituídas de acordo com a Tabela de layers definida;
- Verificação de todas as feições restituídas para a detecção de falhas e omissões ocorridas durante o processo de captura na restituição, as quais foram realçadas para as devidas correções em estações fotogramétricas digitais;
- Verificação da continuidade geométrica das feições de hidrografia e do seu traçado em ambiente 3D.
- Avaliação da qualidade posicional da restituição, onde foram utilizados os produtos laser (curvas de nível e imagens hipsométricas).

O resultado do processo de restituição foi um conjunto de arquivos de dados vetoriais no formato DWG, englobando toda a área de trabalho, projetados ao Sistema de Projeção UTM e referenciados ao Sistema de Referência SIRGAS 2000, contendo as coordenadas das feições cartográficas interpretadas pelo fotogrametrista.

#### **7.4.     *Análise dos Resultados***

O controle de qualidade da penetração do laser constituiu na comparação dos pontos do voo alto (altura de voo de 2.500 m) usado para a confecção da base cartográfica com os pontos das faixas de voo baixo (altura de voo de 1.000 m) designadas exclusivamente para o controle de qualidade. O parâmetro de comparação determinado pelo PEC é metade da equidistância da curva de nível. O quadro abaixo demonstra que o mapeamento inicialmente previsto para ter precisão compatível a escala 1:10.000 **foi aprovado na classe A do PEC para a escala 1:5.000**, tanto na bacia do rio Trombetas (área original e área complementar) quanto na bacia do rio Erepecuru.

Bacia	Número de Faixas de Validação	Número de Pontos	Diferença Altimétrica menor que 2,5m (Escala PEC A 1:10.000)	Diferença Altimétrica menor que 1m (Escala PEC A 1:5.000)
Trombetas	7	574.481	99,2 %	93,2 %
Erepecuru	3	503.136	99,7 %	95,7 %

A partir da verificação da relação entre a quantidade total de pontos do perfilamento a laser classificados como terreno do MDT e a área de Estudo em m<sup>2</sup>, também foi possível verificar que a densidade de pontos por área atendeu as condições de precisão esperada para esse levantamento de um ponto a cada 20m<sup>2</sup>.

Com a aprovação do levantamento de perfilamento a laser, realizado pela Engefoto em toda a área do projeto e não apenas na área complementar, foi possível comparar os dados altimétricos desse projeto com aqueles gerados pela Hydros (contrato CT-EPE-028/2006). Considerando a precisão do mapeamento na escala 1:10.000, as diferenças altimétricas em módulo para maior parte da área do projeto não deveria ser superior a 5 metros. Constatou-se, no entanto, que apenas uma pequena parte da área tinha uma diferença altimétrica em módulo menor que 5 metros, sendo que em certos locais esse valor chega a ser superior a 30 metros.

A Figura 8 apresenta essa comparação para uma amostra da área do estudo usando linhas de igual diferença altimétrica, sendo que a linha em vermelho indica diferença altimétrica igual a zero e os polígonos azuis indicam as zonas altimetricamente consistentes, ou seja, com diferença altimétrica inferior a 5 metros em, em módulo.

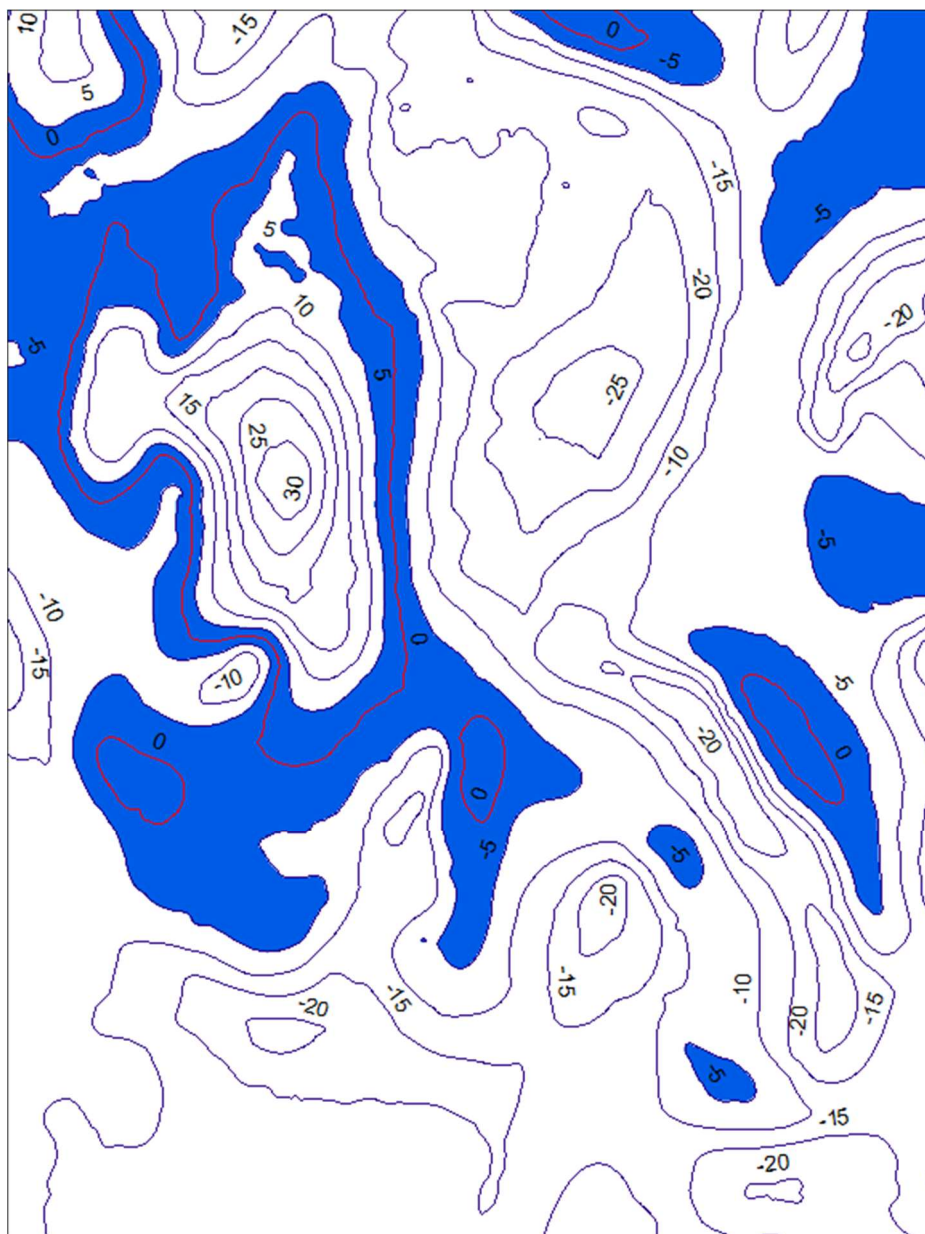


Figura 8: Diferença altimétrica entre os levantamentos

Essas diferenças encontradas, principalmente nas regiões mais distantes dos principais cursos d'água, são explicadas pelas dificuldades de obtenção de dados altimétricos confiáveis sob vegetação fechada, onde foi necessário utilizar aerofotogrametria convencional sem a possibilidade de abertura de clareiras para levantamento de pontos de apoio. Outro fator que impactou negativamente a qualidade da base cartográfica gerada pela Hydro (contrato CT-EPE-028/2006) foi a deficiência de pontos foto identificáveis nesse tipo de região. Decidiu-se, portanto, pelo descarte de toda altimetria realizada pela Hydros (contrato CT-EPE-028/2006) e pela utilização dos resultados obtidos no perfilamento a laser nas áreas original e complementar.

A consistência planimétrica da restituição aerofotogramétrica da área original foi analisada por meio de comparações visuais com as curvas de níveis do perfilamento a laser. Conforme pode ser observado pela Figura 9, a base cartográfica gerada por métodos fotogramétricos clássicos somente apresenta resultados planialtimétricos confiáveis ao longo dos principais cursos d'água. Os resultados planimétricos da restituição realizada pela Hydros (contrato CT-EPE-028/2006) estão adequados e compatíveis com o MDT, exceto em rios de menor porte, que não são visíveis fotogrametricamente.

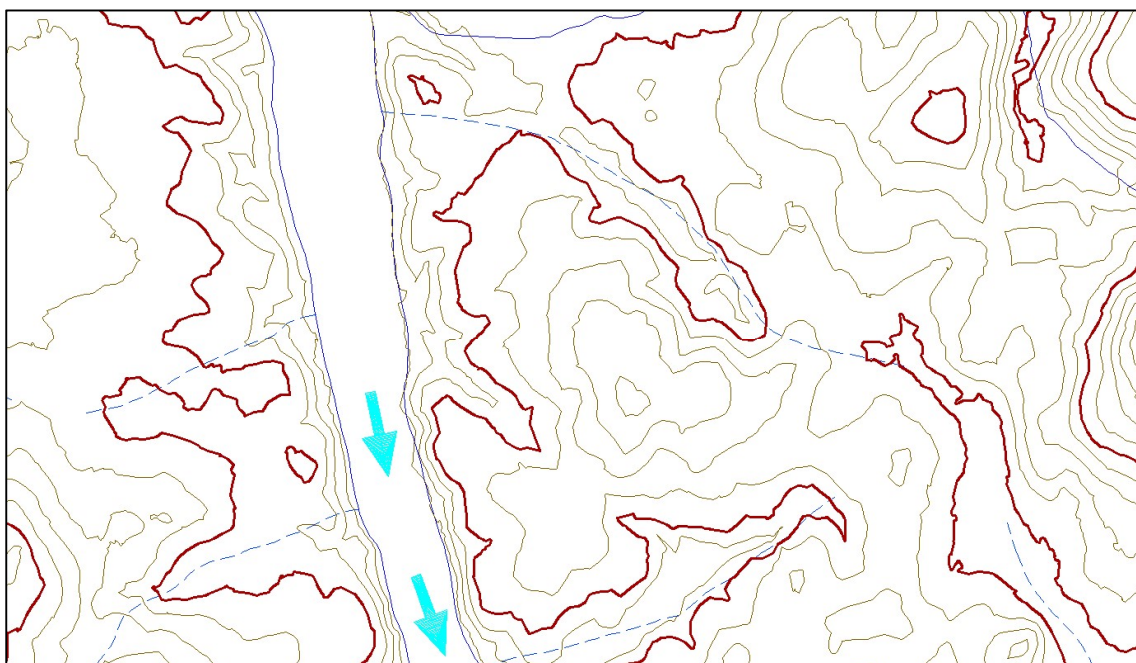
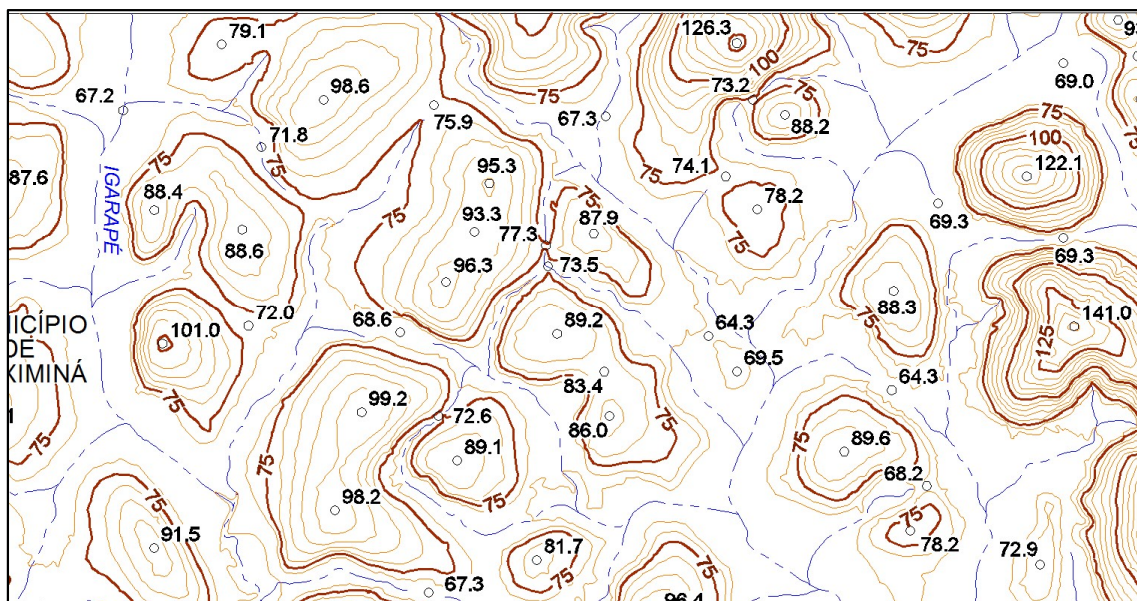


Figura 9: Consistência planimétrica da área original

Em relação à consistência planimétrica da área complementar gerada pela Engefoto (contratos CT-EPE-020/2010 e CT-EPE-021-2010), verificou-se uma aderência adequada de toda a hidrografia com as curvas de níveis obtidas por perfilamento laser como demonstra a Figura 10.



---

## 8. BASE CARTOGRÁFICA

Na área do mapeamento original elaborado pela Hydros, na bacia do rio Trombetas a montante da foz do rio Erepecuru foi gerada uma nova base cartográfica com os resultados do MDT do perfilamento a laser, utilizando as margens dos cursos d'água principais restituídos pela Hydros (contrato CT-EPE-028/2006). A drenagem secundária não foi utilizada por não aderir ao MDT. Na área complementar da bacia do rio Trombetas e na sub-bacia do rio Erepecuru a base cartográfica foi gerada integralmente pelos levantamentos realizados em 2012 pela Engefoto (contratos CT-EPE-020/2010 e CT-EPE-021-2010) utilizando os resultados do MDT do perfilamento a laser, aerotriangulação e restituição aerofotogramétrica.

A Figura 11, a seguir, apresenta os mapas de articulação das folhas de restituição geradas na escala 1:25.000 para impressão no formato A3, das bacias dos rios Trombetas e Erepecuru. Nessa figura, a área do mapeamento original na bacia do rio Trombetas, a montante da foz do rio Erepecuru, é representada por polígono verde e a área do mapeamento complementar por polígono vermelho.

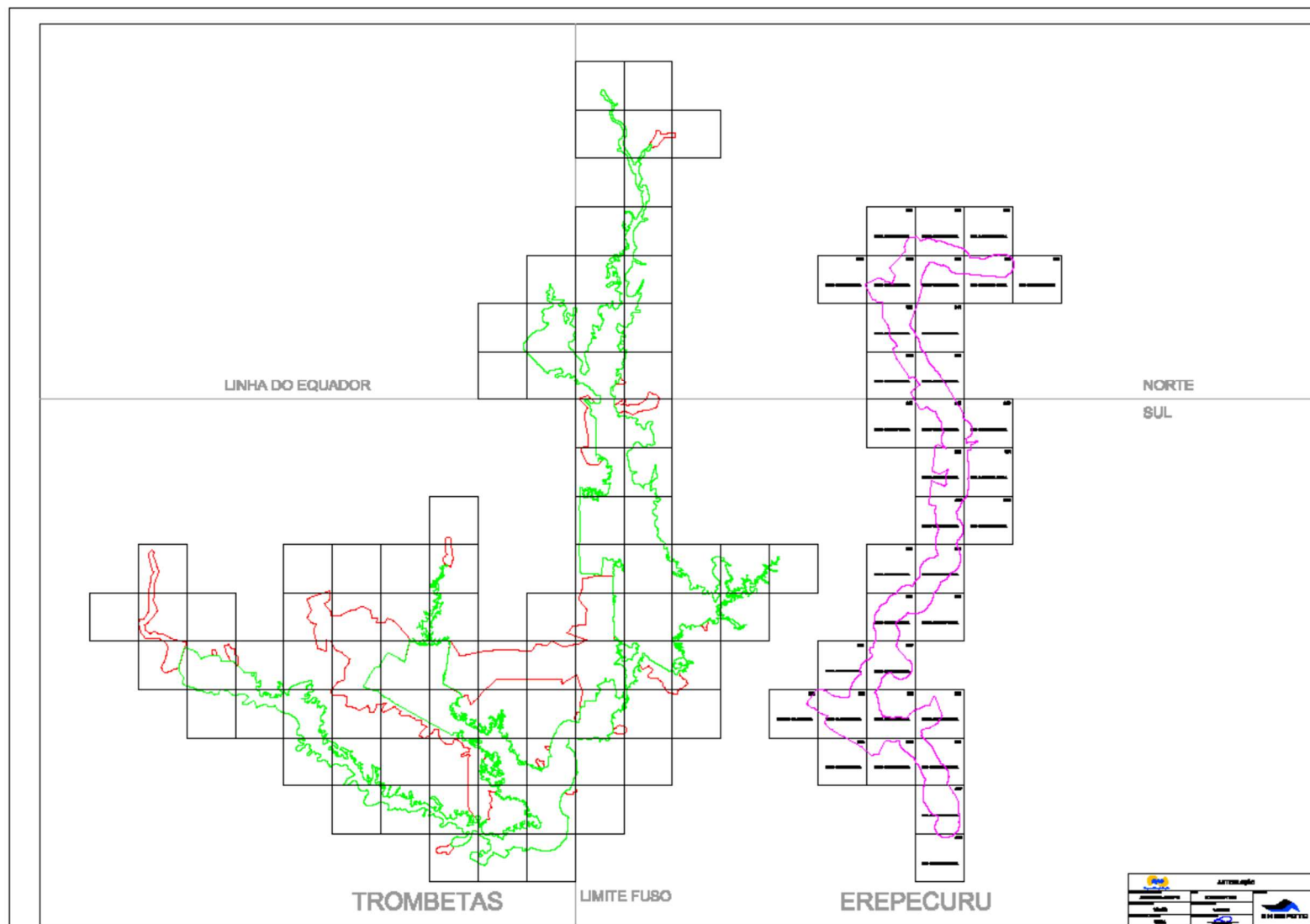


Figura 11: Articulação das folhas do mapeamento nas bacias do rio Trombetas e do rio Erepecuru



---

dados laser, perfis de linha d'água dos rios Trombetas, Mapuera, Cachorro, Cachorrinho, Caxipacoro e Turuna levantadas topograficamente por rastreo GNSS e o mapa hipsométrico da área do estudo realizado com os dados do perfilamento a laser.

Este apêndice apresenta em anexo os desenhos gerados pela restituição aerofotogramétrica incluindo os desenhos de articulação nas áreas de interesse das bacias do rio Trombetas e do rio Erepecuru. Esses documentos constavam originalmente no Volume II – Caderno de Desenhos do Produto 6 – Relatório Final do Mapeamento Planialtimétrico da bacia do rio Trombetas (TRO-C-00-100.006-RE-R0\_ENGEFOTO, fevereiro/2013) e Volume II – Caderno de Desenhos do Produto 5 – Relatório Final do Mapeamento Planialtimétrico da bacia do rio Erepecuru (ERE-C-00-100.006-RE-R0\_ENGEFOTO, março/2012), respectivamente. Também são apresentados em anexo os perfis de linha d'água dos principais cursos d'água da área de Estudo.

---

## 9. REFERÊNCIAS

BRASIL. Decreto n.89.817, de 20 de jun. de 1984. Padrão de Exatidão Cartográfica, Brasília, DF, jun 1984

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, (2005). Mudança de Referencial Geodésico no Brasil, Brasília, DF, fev 2005

---

## **10. ANEXOS – DESENHOS GERADOS**

### ***10.1. Anexo 1 – Bacia do Rio Erepecuru***

O Anexo 1 apresenta os desenhos gerados da restituição, o desenho de articulação das folhas do mapeamento planialtimétrico da Bacia do rio Erepecuru e o perfil de linha d'água do rio Erepecuru, apresentados originalmente no documento ERE-C-00-100.006-RE-R0 \_ ENGEFOTO, fevereiro/2013\_ Volume II - Desenhos do Relatório Final.

### ***10.2. Anexo 2 – Bacia do Rio Trombetas, a montante da foz do Rio Erepecuru***

O Anexo 2 apresenta os desenhos gerados da restituição e o desenho de articulação das folhas do mapeamento planialtimétrico da Bacia do rio Trombetas, a montante da foz do rio Erepecuru, apresentados originalmente no documento TRO-C-00-100.006-RE-R0 \_ ENGEFOTO, março/2012\_ Volume II - Desenhos do Relatório Final. Também estão presentes nesse anexo os perfis de linha d'água realizados pela Hydros no contrato CT-EPE-028/2006 e entregues em abril de 2008.