

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA**

DANIEL PEREIRA DE QUEIROZ

**PROJETO GEOMÉTRICO DE EXPANSÃO DO SISTEMA DE TRENS URBANOS
DE MACEIÓ: TRECHO CENTRO - MANGABEIRAS**

**Rio Largo – AL
2023**

DANIEL PEREIRA DE QUEIROZ

**PROJETO GEOMÉTRICO DE EXPANSÃO DO SISTEMA DE TRENS URBANOS
DE MACEIÓ: TRECHO CENTRO - MANGABEIRAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Agrimensura do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida.

Rio Largo – AL
2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

Q3p Queiroz, Daniel Pereira de.

Projeto geométrico de expansão do sistema de trens urbanos de Maceió: trecho centro - Mangabeiras. / Daniel Pereira de Queiroz. – 2023.

54f.: il.

Orientador(a): Henrique Ravi Rocha De Carvalho Almeida..

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura) – Graduação em Engenharia de Agrimensura, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2023.

Inclui bibliografia

1. Ferrovia. 2. Projeto Geométrico. 3. Trem. I. Título.

CDU: 528

DANIEL PEREIRA DE QUEIROZ

**PROJETO GEOMÉTRICO DE EXPANSÃO DO SISTEMA DE TRENS URBANOS
DE MACEIÓ : TRECHO CENTRO – MANGABEIRAS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Agrimensura do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Aprovado em: 04 / 04 / 2023

Banca Examinadora:

(Prof. Dr. Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida, UFAL) (Orientador)

(Prof. Dr. Arthur Costa Falcão Tavares, UFAL)

(Prof^a. Ma. Wedja de Oliveira Silva)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, à
minha esposa e ao meu filho pelo carinho e
apoio que sempre me dedicam.

AGRADECIMENTOS

Nesse período de graduação não só tive a oportunidade de adquirir diversos conhecimentos técnicos como tive também a oportunidade de conhecer diversas pessoas que me ajudaram de forma significativa na minha formação profissional e pessoal. Dessa forma, quero agradecer a todos os professores do curso de Engenharia de Agrimensura que sempre cada um da sua forma foram exemplos para mim. Estendo esse agradecimento a todos os professores que tive desde a minha primeira professora do jardim infantil. Cada um me mostrou o quanto é significativo o exemplo de um professor na vida de um aluno.

Agradeço a minha esposa Eladja Oliveira Santos de Queiroz que muito me ajudou no período de graduação com estímulo, orientações e sugestões, ao meu filho Guilherme Oliveira Santos de Queiroz pelo sorriso, o abraço e o carinho de sempre. Um estímulo a mais para a luta diária.

Ao meu orientador Professor Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida pela orientação.

Agradeço a Banca Examinadora pela disposição em avaliar o meu trabalho e pelas contribuições.

Não posso esquecer de agradecer aos meus colegas de curso; Célia, Gabriel, João, Paulo, Rayanne, Raul, Talvanes e Vitor.

Sobretudo agradeço a Deus.

*“Não existe verdadeira inteligência
sem bondade.”*

(Ludwig Van Beethoven)

RESUMO

A estrada de ferro como elemento de integração comercial e social entre as cidades é objeto de estudo desde o início do século passado, diversas cidades devem muito da sua importância econômica a atividade ferroviária seja transportando carga, pessoas ou ambos. A ferrovia em Maceió teve sua implantação no século XIX e desde então pouco se modificou e acrescentou ao seu traçado original. Em 2014 a Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) licitou um projeto com objetivo de expansão de sua linha férrea, um trecho de aproximadamente 3 Km ligando a estação central (centro de Maceió) ao Shopping Maceió (Mangabeiras) esse projeto que foi concluído e entregue tem diversas particularidades e é o projeto geométrico desse traçado que é o objeto desse trabalho de conclusão de curso. O traçado geométrico com suas particularidades e a comparação com o que as normas exigem é a base desse trabalho.

Palavras-chaves: Ferrovia; Projeto Geométrico; Trem.

ABSTRACT

The railroad as an element of commercial and social integration between cities has been an object of study since the beginning of the last century, several cities owe much of their economic importance to railroad activity, whether transporting cargo, people or both. The railroad in Maceió was implemented in the 19th century and since then little has been modified or added to its original layout. In 2014, Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) tendered a project with the objective of expanding its rail line, a stretch of approximately 3 km connecting the central station (downtown Maceió) to Shopping Maceio (Mangabeiras) this project was completed and delivered it has several particularities and it is the geometric design of this route that is the object of this course conclusion work. The geometric layout with its particularities and the comparison with which the norms require is the basis of this work.

Keywords: Railroad; Geometric Design; Train.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta geral da estrada de ferro do Recife ao São Francisco.....	18
Figura 2 – Estudo para estrada de ferro Central do Brasil.....	19
Figura 3 – Plataforma Ferroviária.....	20
Figura 4 – Trilho.....	21
Figura 5 – Tipos de Domento.....	22
Figura 6 – Fixações.....	22
Figura 7 – Lastro.....	23
Figura 8 – Mapa de localização.....	25
Figura 9 – Superelevação teórica.....	29
Figura 10 – Detalhe da primeira prancha.....	31
Figura 11 – Detalhe da segunda prancha.....	33
Figura 12 – Detalhe da terceira prancha.....	34
Figura 13 – Detalhe da quarta prancha.....	35
Figura 14 – Detalhe da quinta prancha.....	37
Figura 15 – Detalhe da sexta prancha.....	38
Figura 16 – Detalhe da sétima prancha.....	39
Figura 17 – Detalhe da oitava prancha.....	39
Figura 18 – Detalhe da nona prancha.....	40
Figura 19 – Primeira prancha.....	45
Figura 20 – Segunda prancha.....	46
Figura 21 – Terceira prancha.....	47
Figura 22 – Quarta prancha.....	48
Figura 23 – Quinta prancha.....	49
Figura 24 – Sexta prancha.....	50
Figura 25 – Sétima prancha.....	51
Figura 26 – Oitava prancha.....	52
Figura 27 – Oitava prancha.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios do termo de referência divididos por prancha.....	41
--	----

LISTA DE ABREVIATÖES

AMV	Aparelho de Mudança de Via
AREA	American Railway Engineering Association
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
DNIT	Departamento Nacional de Infraestutura de Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LC	Comprimento de transição
REFFSA	Rede Ferroviária Federal S/A
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Ferrovia no Mundo.....	16
3.2	Ferrovia no Brasil.....	17
3.3	Ferrovia em Alagoas	18
3.4	Caracterização da ferrovia	20
3.5	Projeto Geométrico.....	23
4	ÁREA DE ESTUDO	25
5	METODOLOGIA	27
6	RESULTADOS.....	31
7	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	ANEXOS	45

1 INTRODUÇÃO

A agrimensura é imprescindível nos projetos de engenharia, pois é a base para a elaboração e execução de projetos. Sem o levantamento topográfico, seria inviável projetar casas, barragens, ferrovias e estradas (FERREIRA, 2020).

Os problemas relativos à mobilidade urbana fazem parte de uma das grandes preocupações do mundo moderno. Os projetos de implantação de novas ferrovias urbanas respeitando as tradições arquitetônicas e a otimização do espaço urbano são desafios que perpassam as questões de urbanismo, podendo-se dizer que é um desafio da cidadania (MATIAS, 2022).

A ferrovia como elemento de integração e desenvolvimento de uma região é algo que vem desde o seu surgimento. Nesse sentido: “As ferrovias resolveram um problema crucial da humanidade no século XIX: A falta de meios de transporte e comunicação rápidos e eficientes”. (BORGES, 2011, p. 27).

Logicamente que o avanço tecnológico promovido pela ferrovia foi recebido com entusiasmo e espalhou-se pelo mundo com a promessa de integrar cidades, melhorar as relações comerciais, bem como dar agilidade ao transporte de pessoas e cargas. Porém a chegada da ferrovia nos países latino americanos foi demorada e irregular. Tendo em vista isso, apenas alguns países implantaram redes ferroviárias nacionais (Argentina, Chile, México e Uruguai). Em outros, como Brasil e Peru, construiu-se apenas troncos ferroviários interligando os centros produtores de bens primários do interior aos portos de exportação (BORGES, 1990).

Em 1852 o governo imperial do Brasil criou a lei Nº 641 que regulamenta concessões e buscava atrair investidores nacionais e internacionais para o setor de transporte. Ainda em 1952 coube a Irineu Evangelista de Souza (Visconde de Mauá), após concessão dada pelo imperador D. Pedro II, a primazia de construir a primeira ferrovia brasileira. Após se associar a empresários ingleses, eles construíram 14 km de ferrovia que ligava o porto de Mauá à estação de Fragoso no Rio de Janeiro (MATOS, 1974).

Em 1864 inicia-se em Alagoas a implantação de ferrovias, com a construção de 6 km de estrada de ferro que ligava a ponte dos Fonseca (localizada ao lado da praça Sinimbu) ao trapiche da Barra, sendo inaugurada em 1868 (RAMOS, 2019).

Segundo Ramos (2019), o transporte de passageiros foi inaugurado com a era

dos bondes em 1866 onde “(...) foi elaborado o projeto para instalação de um serviço de “tramways” em Maceió entre Jaraguá e Trapiche da Barra com um ramal para o centro de Maceió.” (RAMOS, 2019, p. 34).

Devido a existência de poucas estradas e as condições precárias para transitá-las, o serviço de “tramways” foi o primeiro ramal ferroviário de Alagoas de que se tem conhecimento.

Além dos bondes, fazendo o transporte dentro da cidade, as locomotivas transportavam pessoas em viagens intermunicipais e interestaduais. A ferrovia ao longo dos anos impulsionada pelo transporte comercial de produtos (cana-de-açúcar, algodão, animais, etc) foi perdendo espaço para o transporte rodoviário, considerado na época mais ágil e com menor dependência de recursos públicos, e aos poucos o transporte ferroviário entrou em declínio (BORGES, 2011).

Ao longo do tempo o governo federal tentou resolver a questão das ferrovias brasileiras e em 1957 o então presidente Juscelino Kubitschek criou a Rede Ferroviária Federal. mas nenhuma das iniciativas trouxe de volta a ferrovia com a mesma importância que tinha no século XIX e no início do século XX. O setor rodoviário cada vez mais iria se consolidando como o principal transporte de cargas e passageiros no país (SIMÕES, *et al.*,1997).

Em 1984 é criada a Companhia de Trens Urbanos (CBTU) através do decreto-lei nº 89.396 com o objetivo de expandir, modernizar e implantar transporte de passageiros sobre trilhos no país. Desde sua criação a CBTU, “herdeira” da antiga rede ferroviária federal, recebeu as linhas que outrora pertenciam a Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA). Desde então, a CBTU vem operando dentro das limitações de um traçado projetado para uma realidade prevista para o século XIX, em que o objetivo inicial era o transporte de carga (CBTU, 2020). O objetivo da CBTU é: “O planejamento, o estudo, os projetos, a construção e a implantação de serviços de transporte de pessoas, por trem de superfície nas Regiões Metropolitanas (...)” (ESTATUTO SOCIAL DA CBTU, 2015, p. 2).

Em 2010 ocorreu a chegada do Veículo Leve Sobre Trilhos (VLT) em Alagoas. O VLT traz para a companhia uma nova realidade e a necessidade de atender bairros mais populosos e de atuar como solução nas questões de mobilidade urbana. Tendo em consideração esses fatores a CBTU lança em 2017 o projeto de expansão da malha ferroviária da sua estação central (Centro) até o atual shopping Maceió (Mangabeiras) com o objetivo de atender a uma demanda da cidade que busca

resolver os problemas de mobilidade que tem enfrentado, problemas esses, que não são exclusividade apenas de Maceió.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar o projeto geométrico da expansão do sistema de trens urbanos de Maceió, no trecho que compreende Centro – Mangabeiras.

2.2 Específicos

- Comparar o traçado definido com as exigências do termo de referência;
- Comparar o traçado definido com as normas da CBTU; e
- Analisar se o projeto geométrico apresentado atende as exigências do Edital de licitação.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Ferrovia no mundo

O transporte sobre trilhos teve origem no século XVI nas minas da Alsácia e da Europa Central (NABAIS, 2014), sendo que estes tipos de transporte, chamados de “trollers” eram impulsionados pela força dos trabalhadores:

Um dos primeiros protótipos de locomotiva a vapor foi um veículo autopropulsor idealizado pelo jesuíta francês Ferdinand Verbiest em Pequim, na China, em 1681. Já em 1769, Joseph Cugnot, militar francês, construiu em Paris, na França, um veículo a vapor destinado ao transporte de munição. O uso de tração animal em meios de transporte precedeu de modo natural o pleno uso do transporte ferroviário, a partir do final do século XVIII, quando a Revolução Industrial, na Inglaterra, propiciou a descoberta da utilização da energia do vapor para mover máquinas, logo depois aplicada também no transporte sobre rodas. O aparecimento da locomotiva e, com ela, das vias férreas está associado tradicionalmente ao nome do engenheiro inglês Richard Trevithick. Em 1804, em uma mina no País de Gales, após várias tentativas, ele conseguiu fazer uma locomotiva de quatro rodas deslizar sobre trilhos de ferro fundido, puxando cinco vagões com 10 t de carvão à velocidade de 8 km/h. Seu feito motivou os engenheiros a estudar a possibilidade de construir vias férreas e conjuntos de veículos capazes de percorrê-las (NABAIS, 2014, p.10).

Coube ao inglês George Stephenson, um mecânico de minas, a construção da primeira ferrovia pública com tração a vapor, em 1823, que ligava a cidade de Tockton ao vale do minério de Darlington. Essa estrada de ferro tinha 61 km. A partir daí, a construção de ferrovias foi contínua e chegou a diversos países do mundo.

No que se refere ao conceito de ferrovia, o trazido por Nabais (2014), é considerado um dos mais completos:

[...] ferrovia é um sistema de transporte terrestre, autoguiado, em que os veículos (motores e rebocados) se deslocam com rodas metálicas sobre duas vigas contínuas longitudinais, também metálicas, denominadas trilhos. Os apoios transversais dos trilhos, os dormentes, são regularmente espaçados e repousam geralmente sobre um colchão amortecedor de material granular denominado lastrom que por sua vez, absorve e transmite ao solo as pressões correspondentes às cargas suportadas pelos trilhos, distribuindo-as, com taxa compatível à sua capacidade de suporte para o terrapleno (infraestrutura ferroviária) (NABAIS, 2014, p. 19).

Nabais (2014) acrescenta ainda que existem dois subsistemas essenciais que compõem a ferrovia. Um é denominado de material rodante do qual fazem parte os veículos rebocados e tratores. O outro, é a via permanentemente composta pela parte da infraestrutura e a superestrutura da malha ferroviária.

3.2 Ferrovia no Brasil

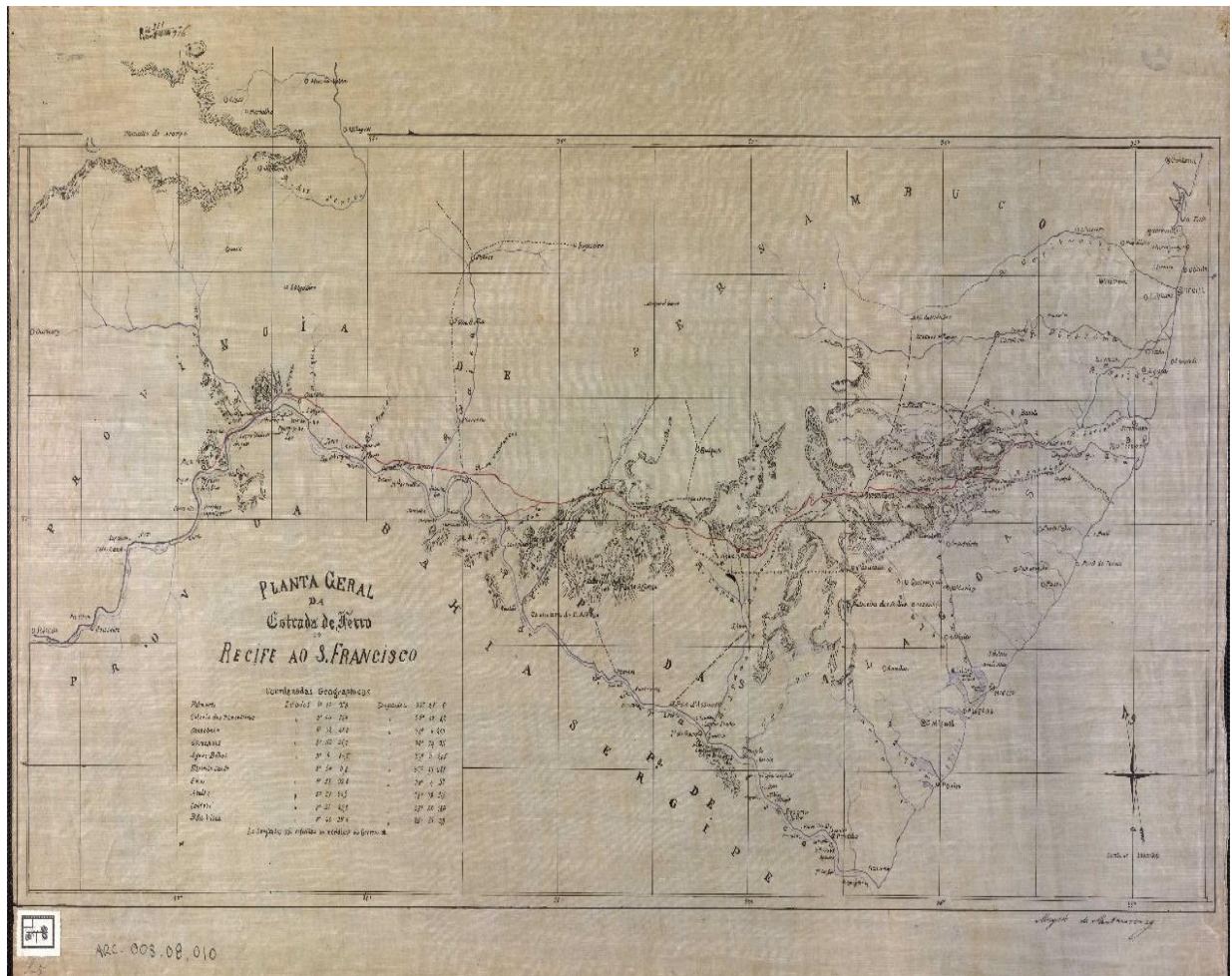
Em 1852 inicia-se a era ferroviária no Brasil através de um decreto do governo imperial, a lei 641, que estabelecia concessões para companhias ferroviárias com o objetivo de atrair investidores nacionais e internacionais (MATOS,1974).

Ainda em 1852 o imperador D. Pedro II concedeu a Irineu Evangelista de Souza, o Barão de Mauá, o direito de construir uma ferrovia que ligasse a cidade do Rio de Janeiro ao Vale do Paraíba. Em 1854 era inaugurado o primeiro trecho ferroviário do país que ligava o porto de Mauá a estação de Fragoso com pouco mais de 14km de extensão (MATOS,1974).

Corroborando com o que trouxe Matos (1974), Nabais (2014) afirma que:

A inauguração da Estrada de Ferro Mauá, com 14,50 km de extensão, aconteceu em 30 de abril de 1854. Em 16 de dezembro de 1856, a linha foi estendida de Fragoso até Raiz da Serra de Petrópolis, perfazendo 16,32 km de extensão." A segunda ferrovia brasileira, a Recife & São Francisco Railway (Estrada de Ferro de Recife ao São Francisco), construída pelos ingleses, com 31,50 km de extensão, foi inaugurada em 8 de fevereiro de 1858 e ligava Cinco Pontas a Cabo (Figura 1) (NABAIS, 2014, p.17).

Figura 1 - Planta geral da estrada de ferro do Recife ao Rio São Francisco.



Fonte: Biblioteca Nacional Digital Brasil [18_?]

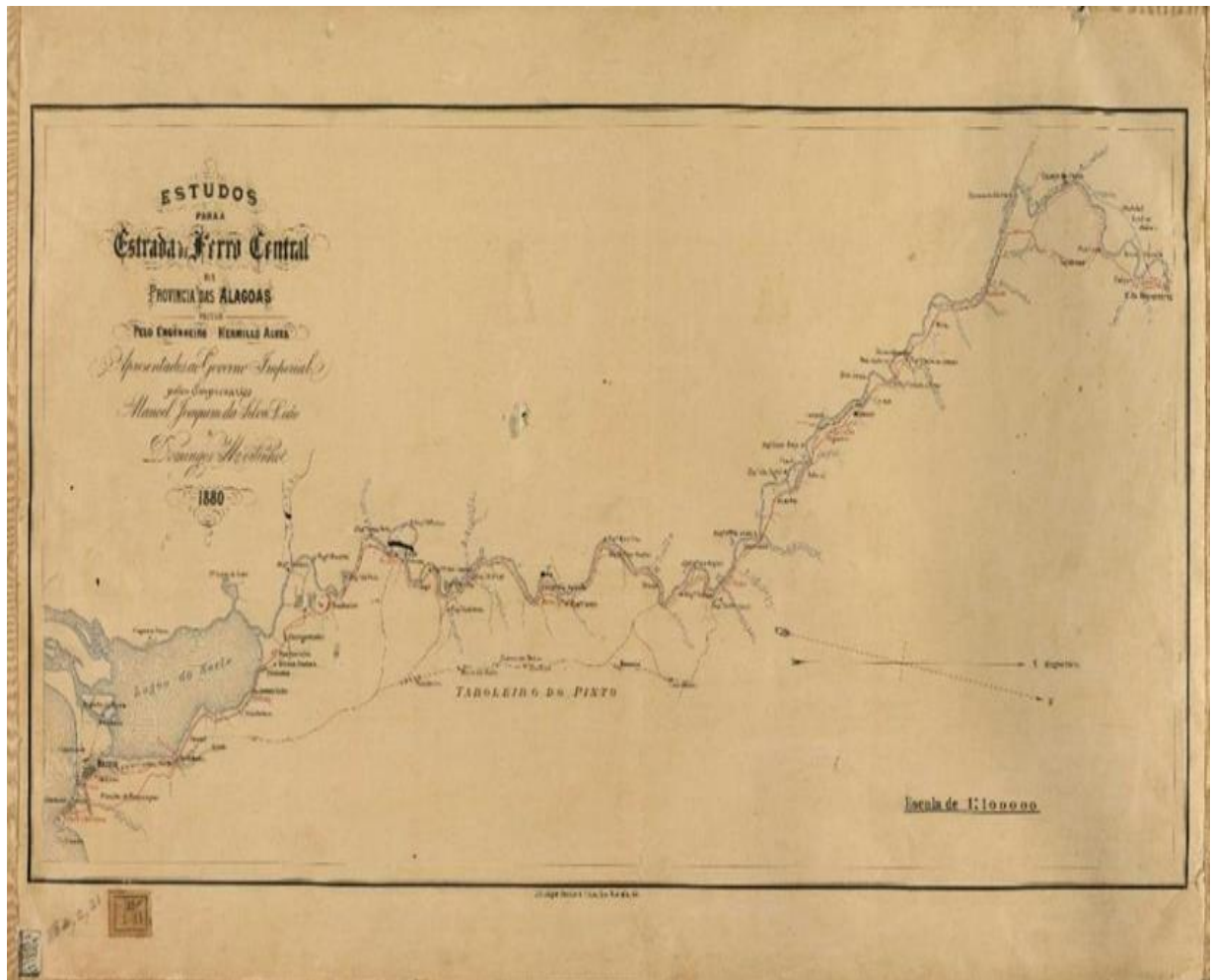
3.3 Ferrovia em Alagoas

A primeira ferrovia de Alagoas foi inaugurada em 25 de março de 1868, tratando-se do ramal Maceió/Jaraguá. Em 10 de setembro do mesmo ano seria inaugurado o trecho até o bairro do Trapiche da Barra. O ramal Maceió/Jaraguá transportou aproximadamente 4 mil passageiros em um mês e isso fez com que se pensasse em expandir a linha férrea. A partir de 1º de outubro de 1894 começaram a ser realizadas as primeiras viagens Maceió/Recife (RAMOS, 2019).

Abaixo (Figura 2) a carta com o estudo para implantação da estrada de ferro central do Brasil partindo de Maceió e chegando a Vila Nova da Imperatriz atual União dos Palmares é um exemplo das primeiras iniciativas de construir em Alagoas.

Figura 2 – Estudo para estrada ferro central do Brasil realizado em 1880.

Figura 2 – Estudos para estrada de ferro Central do Brasil



Fonte – Biblioteca nacional digital Brasil, 1880.

A implantação da ferrovia em Alagoas foi fruto de decretos imperiais que enfrentaram muita resistência dos proprietários das áreas desapropriadas, mas que ao final tornou possível o transporte de cargas e pessoas de Recife a Maceió passando por cidades como União dos Palmares, Viçosa, Murici, etc. (RAMOS, 2019).

As ferrovias proporcionaram uma relação direta com os setores de trabalho, o desenvolvimento do comércio local, o atendimento à mão-de-obra diversificada, a relação direta com a produção agrícola de exportação; especificamente a indústria açucareira e algodoeira e a mobilidade urbana correspondente aos municípios da região metropolitana de Maceió, atendendo grande demanda de passageiros (RAMOS, 2019, p.32).

A ferrovia foi ao longo dos anos, um dos poucos elementos de comunicação viária entre as cidades.

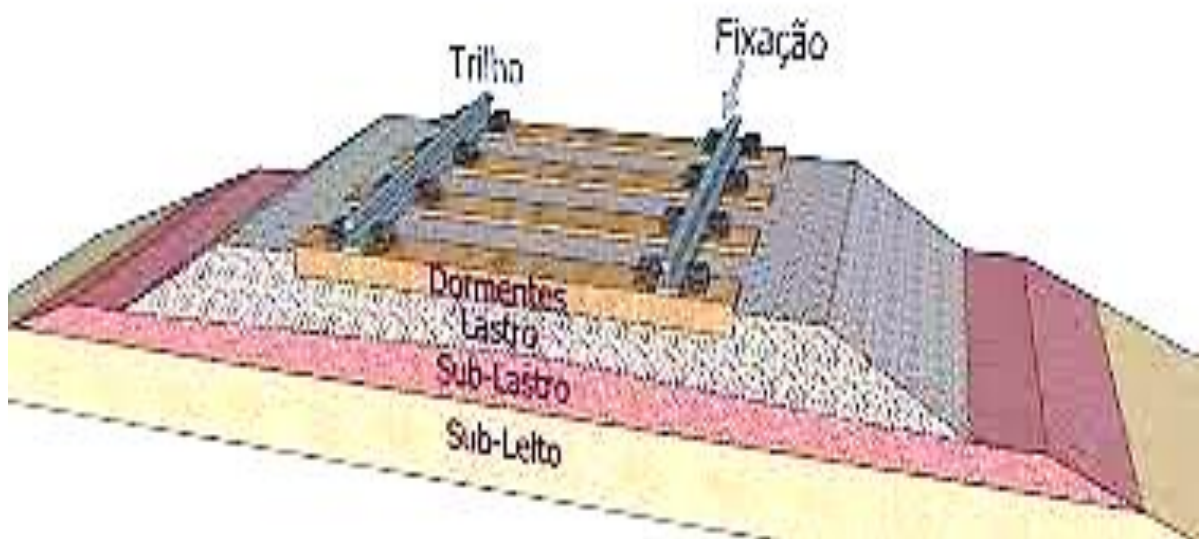
3.4 Caracterização da Ferrovia

A ferrovia pode ser definida como o conjunto de elementos que, combinados, facilitam a operação de trens e demais veículos ferroviários, sendo composta dentre vários elementos, por via permanente, estações e sinalização. Estes elementos, segundo Klincenvicius (2011), podem ser definidos como:

a) Via Permanente

Via permanente é o conjunto de elementos de infra-estrutura (camadas de terraplenagem e drenagem) e superestrutura (lastro, dormentes, fixações e trilhos) que possibilitam o rolamento de veículos ferroviários. Tem como objetivo, garantir a segurança e o conforto do tráfego de trens e transmitir para as camadas inferiores os esforços provenientes da operação de trens. A Figura 3 mostra a plataforma ferroviária com os elementos que compõem sua estrutura citados no início do parágrafo.

Figura 3 – Plataforma Ferroviária.



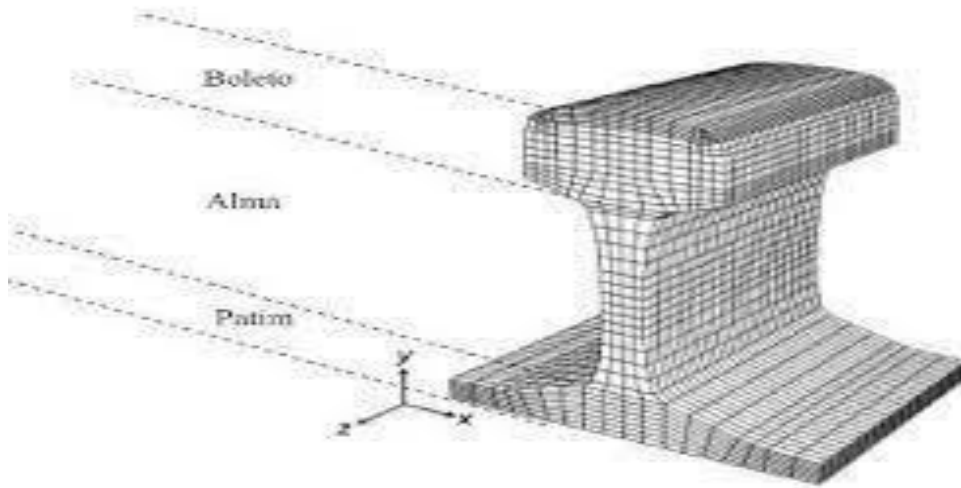
Fonte: Klincenvicius, 2011.

b) Trilhos

Trilhos (Figura 4) são estruturas de aço, aplicadas longitudinalmente na ferrovia e presos aos trilhos através das fixações tendo como finalidade transmitir a carga

proveniente da operação ferroviária aos dormentes. Além disso, define o trajeto do veículo ferroviário e possibilita a capacidade de aceleração e frenagem à composição ferroviária, além de trazer conforto ao tráfego de trens.

Figura 4 – Trilho.



Fonte: Skyteboll, 2005.

c) Dormentes

Dormentes (Figura 5) são estruturas transversais à via permanente que podem ser de madeira, concreto, aço ou polímero. Têm como finalidade garantir a manutenção da distância entre os trilhos (Bitola), distância essas definidas em projeto; manter a estabilidade da via permanente; e transmitir as cargas oriundas da operação de trens para o lastro.

Figura 5 - Tipos de dormente.



Fonte: Lobato, 2021.

d) Fixações

Fixações (Figura 6) são elementos cujo objetivo é fixar e posicionar os trilhos de forma que respeite a bitola e o alinhamento dos mesmos aos dormentes evitando assim que possam ocorrer deslocamentos devido a ação das forças oriundas do contato roda-trilho. As fixações podem ser rígidas ou elásticas. As rígidas (pregos de linha, parafusos) elas com o tempo devido às vibrações da via perdem sua aderência com o trilho e as elásticas (denick, pandrol, fast clip, RN) são as mais usadas pois mantém o contato com o trilho por mais tempo.

Figura 6 – Fixações.



Fonte: Lobato, 2021.

e) Lastro

Lastro (Figura 7) é uma camada formada por material granular de espessura definida em projeto que, em média, tem de 250 mm a 300 mm. Dentre os principais objetivos se destaca permitir a drenagem da via.

Figura 7 – Lastro Ferroviário



Fonte: <https://nordestenoticias.wordpress.com>

3.5 Projeto Geométrico

O projeto geométrico tem por finalidade estabelecer parâmetros para curvas, tangentes, elevações, rampas, e demais características geométricas da via permanente. A geometria de uma via férrea é composta por tangentes e curvas (RIBEIRO, 2018).

As curvas necessitam de uma atenção especial nos projetos, pois, quando seus elementos estão em desacordo com as normas, sérios problemas podem ocorrer na circulação dos trens.(RIBEIRO, 2018).

Segundo Brina (1988), as curvas devem ser projetadas para que a via seja estabelecida de modo a proporcionar as melhores condições possíveis de segurança e conforto na circulação. Para Paz e Oliveira (2015) a principal diferença entre os aspectos de ferrovias e rodovias é a superelevação, que é muito distinta devido à grande diferença entre os veículos de projeto. Segundo Porto (2004), as ferrovias têm

exigências mais severas quanto às características das curvas do que as rodovias devido à aderência nas rampas.

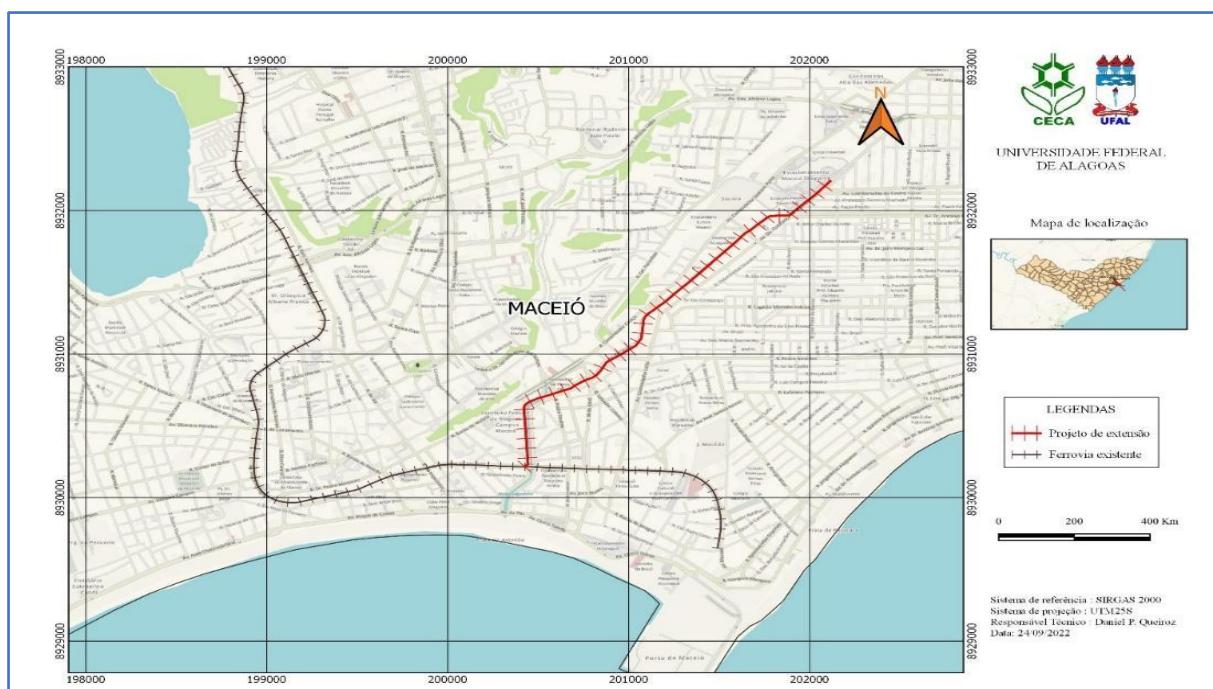
À solidariedade rodas-eixo e ao paralelismo dos eixos de mesmo truque, impõem às ferrovias uma necessidade de raios mínimos maiores do que os raios encontrados em rodovias (RIBEIRO, 2018, p.12).

Segundo Pereira *et al.* (2010), o projeto de uma obra de engenharia, em particular, de uma "estrada", seja ela rodoviária ou ferroviária, deve ser o mais completo (abrangente) possível, de fácil entendimento, perfeitamente exequível para as condições vigentes, com identificação e solução dos prováveis problemas. Para isso, deve-se observar padronização conforme normas estabelecidas, além de conter todos os elementos quantitativos, qualitativos e técnicos nos níveis de detalhamento ideal para a sua melhor e integral aplicação.

3 ÁREA DE ESTUDO

O município de Maceió está situado na Mesorregião do Leste Alagoano e na Microrregião de Maceió, numa parte da faixa litorânea do Nordeste Oriental, ocupando uma área de 509,320 Km² e com uma população estimada em 1.031.597 habitantes. Suas coordenadas geográficas são 9°40' S de latitude e 35°42' W de longitude. Limita-se ao Norte com Flexeiras e Paripueira, ao Sul com a Lagoa do Mundaú e os municípios de Coqueiro Seco e Santa Luzia do Norte, ao Leste com o Oceano Atlântico, e a Oeste com os municípios de Satuba e Rio Largo (MUNICÍPIOS, 2012). O projeto de extensão abrange os bairros do Poço e Mangabeiras conforme a (Figura 8).

Figura 8 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Segundo o documento técnico apresentado pelo consórcio vencedor da licitação, a elaboração do Projeto para implementação deste novo trecho da linha férrea prevê a construção de 3,7 km de linha dupla desde a Estação Maceió, localizada no centro comercial da capital, passando pelo bairro do Poço até a Estação Shopping no Bairro de Mangabeiras. A implantação da infraestrutura e da superestrutura ferroviária de via dupla foi projetada em bitola estreita (1 m), desenvolvendo-se totalmente em área urbana.

O projeto foi elaborado tendo em vista o melhor traçado possível de modo a proporcionar o menor impacto na circulação do sistema viário existente, o menor recobrimento em travessias de córregos e, também a menor área a ser desapropriada.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) nos dados do último censo, os três bairros beneficiados com a ferrovia a ser implantada somam 27.154 habitantes. Destes, 2.212 estão localizados no bairro do Centro, ora já atendidos pela estação Maceió, 20.776 a serem atendidos no bairro do Poço e 4.166 no bairro de Mangabeiras. Para tanto, serão construídas 4 estações de embarque e desembarque para atender a população dos bairros do Poço e Mangabeiras.

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da análise de comparação do Projeto Geométrico da Expansão do Sistema de Trens Urbanos de Maceió, trecho que compreende a Estação Central Maceió – Mangabeiras, com a Instrução Normativa 07 da CBTU, realizou-se uma pesquisa documental. Segundo Ribeiro *et al.* (2023) o investigador utiliza a pesquisa documental para ajudar na análise e compreensão de determinados fenômenos. Esse tipo de pesquisa pode ser utilizada de forma única ou associada a outros tipos de coletas de dados.

5.1 Análise do traçado definido em projeto versus normas e especificações ferroviárias

A CBTU através do seu termo de referência (anexo I do edital Nº 003-2014/GALIC/CBTU-AC) não indicou um traçado pré-definido, sendo exigido da empresa vencedora do processo licitatório, a formulação e apresentação de traçado adequado às normas descritas no termo, devendo o mesmo ser discutido e aprovado pela área técnica da companhia. Conforme é citado no capítulo do projeto geométrico do respectivo termo, a avaliação e aprovação pela CBTU visa verificar se as premissas estabelecidas e a indicação de traçado foram atendidas. Após a aprovação, o empreendedor poderá desenvolver e detalhar o projeto final (Termo de referência CBTU, 2014).

Na sequência visando comparar o traçado estabelecido no projeto final com as normas para projetos geométricos ferroviários, foram utilizadas as especificações técnicas definidas pela CBTU (IT-07), ora indicadas no termo de referência que faz parte do edital de licitação Nº 003-2014/GALIC/CBTU-AC.

a) Termo de Referência

O termo de referência define as seguintes especificações técnicas para o projeto de engenharia ferroviária:

- Bitola: 1,00m;
- Rampa máxima operacional: 3%;
- Raio de curva horizontal mínimo: 100m;
- Raio de curva vertical mínimo: 2.000 m em trechos onde se opera com velocidades limitadas e 4000m na linha principal;

- Velocidade diretriz: 80 km/h; e
- Trem característico do tipo VLT: composição formada por 3 carros de 18 metros com tração nas duas extremidades no total de 8 composições.

Para o trecho de expansão está prevista a aquisição de mais 3 composições. que operará na via permanente e que deverá ter as seguintes características:

Entrevias das Linhas: 4,00m;

- Aparelho de mudança de via (AMV) na linha principal: 1:14 padrão American Railway Engeneering Association (AREA) com agulha otimizada para dormentes de concreto;
- AMV nas linhas secundárias ou pátios: 1:10 para dormentes de concreto;
- Trilhos: TR-45;
- Fixação: Elástica tipo Dennik;
- Dormente: Linha Corrida e AMV: dormente monobloco de concreto protendido;
- Altura da plataforma das Estações em relação ao boleto dos trilhos: 1,10m;
- Carga máxima por eixo 220 kn.

Distância da borda da plataforma da Estação ao eixo da via:

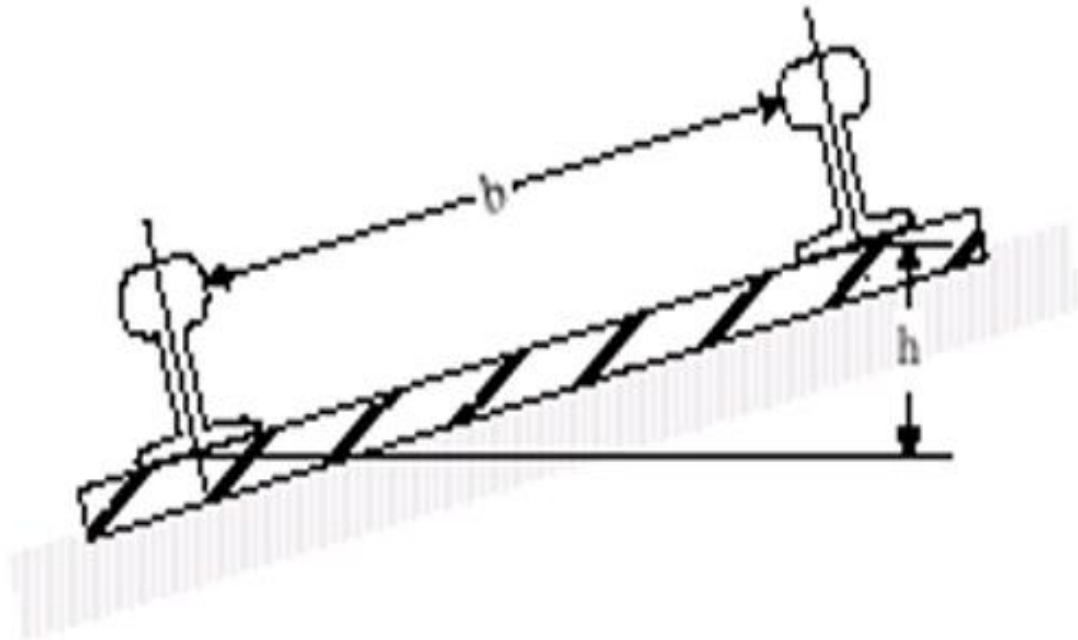
- Em Tangente: 1,55m;
- Em curva: variável até 1,72m.

A especificação técnica de serviços de infraestrutura da CBTU (IT-07 CBTU) define os critérios para elaboração de projeto geométrico, dentre os quais pode-se citar:

a) Superelevação Teórica

Segundo Souza (2018), a Superelevação Teórica corresponde ao desnível entre o trilho externo e o trilho interno capaz de anular, por completo, o efeito da força centrífuga atuante sobre uma composição ferroviária.

Figura 9 – Superelevação teórica



Fonte: BR Ferrovia, 2021.

De acordo com a instrução técnica da CBTU, superelevação teórica para bitola métrica é dada pela seguinte expressão (Equação 1):

$$ST = 8,38 \times V^2 R \quad (1.0)$$

b) Comprimento de transição (Lc)

Segundo Brina (1983), a utilização do comprimento de transição entre a tangente e a curva circular oferece duas grandes vantagens: possibilitar uma passagem gradual entre a tangente e a curva circular e permitir a distribuição gradual da superelevação.

Quando um trem passa de um trecho em tangente para um trecho em curva circular, uma mudança brutal de força centrífuga atuante ocorre, a qual é capaz de desestabilizar o material rodante, além de causar desconforto aos passageiros.

Para evitar essa mudança bruta da força centrífuga é utilizada a curva de transição, que, além de oferecer uma passagem gradual do raio de curvatura do infinito até o raio da curva circular, também permite que a superelevação seja alcançada de forma gradual, variando de nula até a superelevação máxima. Dessa forma, os objetivos principais das curvas de transição são garantir uma transição suave entre o raio de curvatura, das forças centrífugas e da superelevação (Chandra e Agarwal, 2007).

c) Considerações Gerais

Entre curvas de sentidos opostos deverá ser mantido sempre que possível, uma tangente mínima de 20m.

É recomendável que sejam evitadas tangentes curtas entre curvas no mesmo sentido substituindo-as por uma única concordância.

5.3 Análise do impacto da implantação do traçado ferroviário.

Segundo documento Técnico: memória justificativa e especificações complementares (tomo I – Via permanente) apresentado pelo consórcio ATP/Headwaix, vencedor da licitação, alguns impactos são previstos durante as obras de implantação do projeto e estão relacionados às interferências, sendo eles:

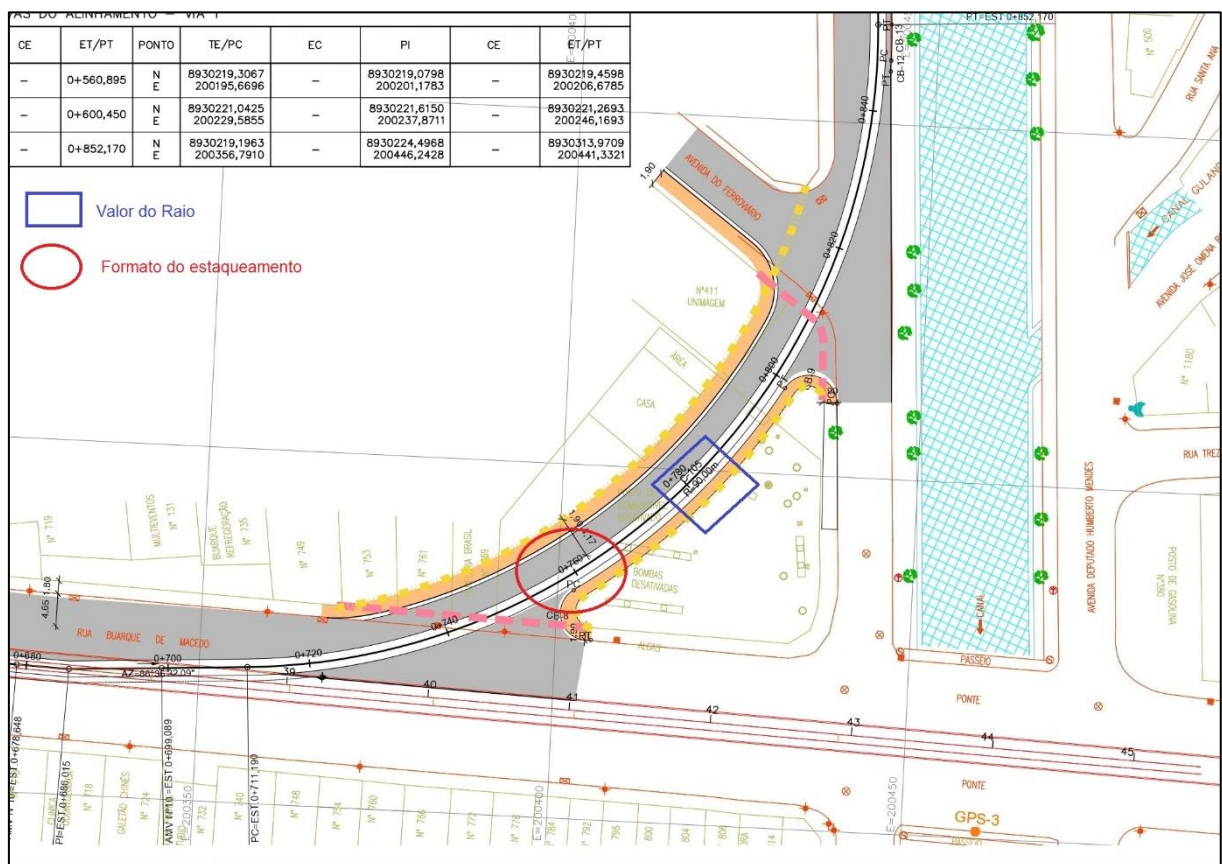
- Cruzamento com o sistema viário local;
- Desapropriações;
- Redes aéreas e/ou enterradas de energia elétrica, internet e telefonia;
- Redes de abastecimento de água e esgoto; e
- O convívio entre o VLT e os veículos em espaço comum.

6 RESULTADOS

Com o objetivo de apresentar os resultados de maneira sistemática o trecho a ser apresentado foi setorizado em nove pranchas:

Prancha 1: representada pela Figura 10, inicia na estaca 0 + 678,648 m, local onde será implantado um Aparelho de Mudança de Via (AMV), como também, corresponde a estaca de início do trecho a ser construído.

Figura 10 – Detalhe da primeira prancha .



Fonte: CBTU, 2014.

Já nessa primeira prancha pode-se perceber que não foi respeitado o que estabelece a instrução normativa IT – 007 no item 10.3 que trata sobre a elaboração da planta. A mesma determina que a planta contenha eixo contínuo com estaqueamento de 20 em 20 m e marcação dos quilômetros.

No entanto, observa-se que o estaqueamento está numa unidade métrica de quilômetros (cada estaca correspondendo a 1000 metros) estando as estacas

fracionárias estabelecidas em uma distância de 20 m. Ainda que isso não seja algo que venha a implicar em grandes alterações, vai de encontro ao que é exigido na citada instrução normativa.

Além do mais, na curva 105 (C-105) o valor do raio indicado no quadro de curvas foi de 90 m o que não atende as especificações do termo de referência que estabelece que o raio de curva horizontal mínimo deverá ser de 100 m.

Outra incongruência identificada foi a ausência do valor do Lc (Comprimento da curva de transição), em que a instrução normativa da CBTU IT-007 estabelece no item 4.7 que trata do comprimento da transição, fórmulas e critérios para o uso do Lc. Dentre eles a Equação 2, que permite determinar o valor do comprimento da transição através do raio mínimo para bitola métrica:

$$Lc = 6,5041 \times \frac{(Rmin^3)^{1/2}}{R} \quad (2.0)$$

Ao adotar na Equação 2 os valores especificados na Figura 10, já que o raio mínimo estabelecido pelo termo de referência é de 100 m e o utilizado foi de 90 m, o Lc seria calculado pela formula acima. No entanto, esta informação não foi indicada no projeto apresentando.

Ao levar em consideração à possibilidade de que se tenha utilizado uma curva circular (sem transição) para a determinação do raio mínimo, onde para tal a IT07/CBTU estabelece o seguinte:

O raio mínimo das curvas circulares deverá ser compatível com a velocidade diretriz (V) prevista para o trecho em estudo, estando as duas grandezas relacionadas pela Equação 3, deduzida para bitola de 1,00 m, onde "V" é expresso em Km/h e "R" em metros:

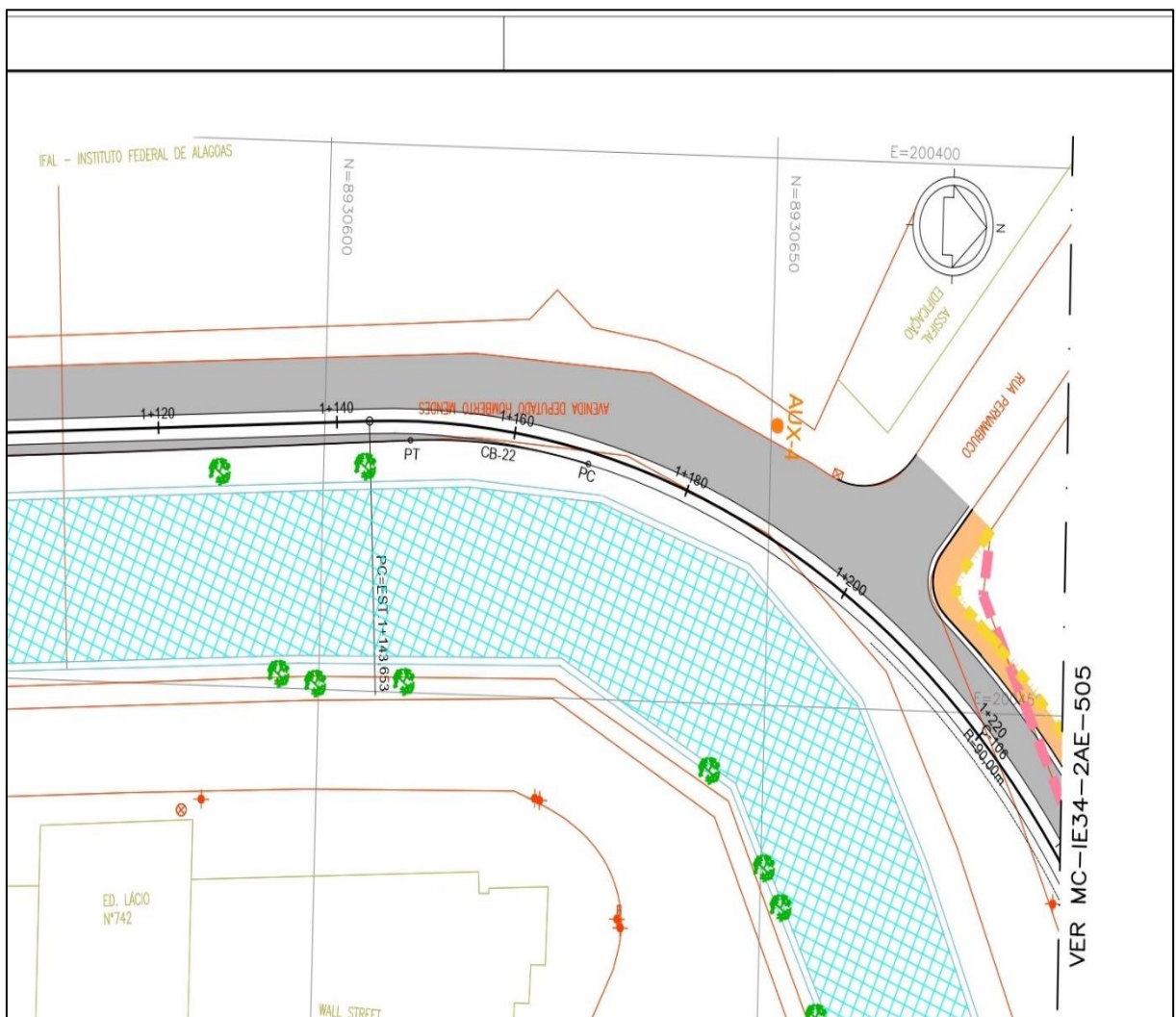
$$Rmin = \frac{Vdir^2}{20,4522} \quad (3.0)$$

Se nesta equação explicitamos "R" e "V" assume um valor particular de "Vdir" (velocidade diretriz), o raio "R" assume o valor de "Rmin" para essa velocidade diretriz, sendo portanto: $Rmin = bitola \text{ de } 1,00m \times \frac{Vdir^2}{20,4522}$ (Instrução normativa IT-07, CBTU, 2005).

Na equação 3, substituindo-se a velocidade diretriz pela velocidade indicada no termo de referência, que é de 80km/h, chegar-se-ia ao resultado de 312,925m e este seria o raio mínimo para o uso de curva circular sem transição. De qualquer maneira, o projeto não atende as essas exigências normativas.

No perfil longitudinal não foram encontradas inconcistências quanto ao que estabelece os documentos de referência técnica. A segunda prancha compreende o trecho inserido entre as estacas 0+860 m a 1+220 m conforme (Figura 11).

Figura 11 – Detalhe da segunda prancha.



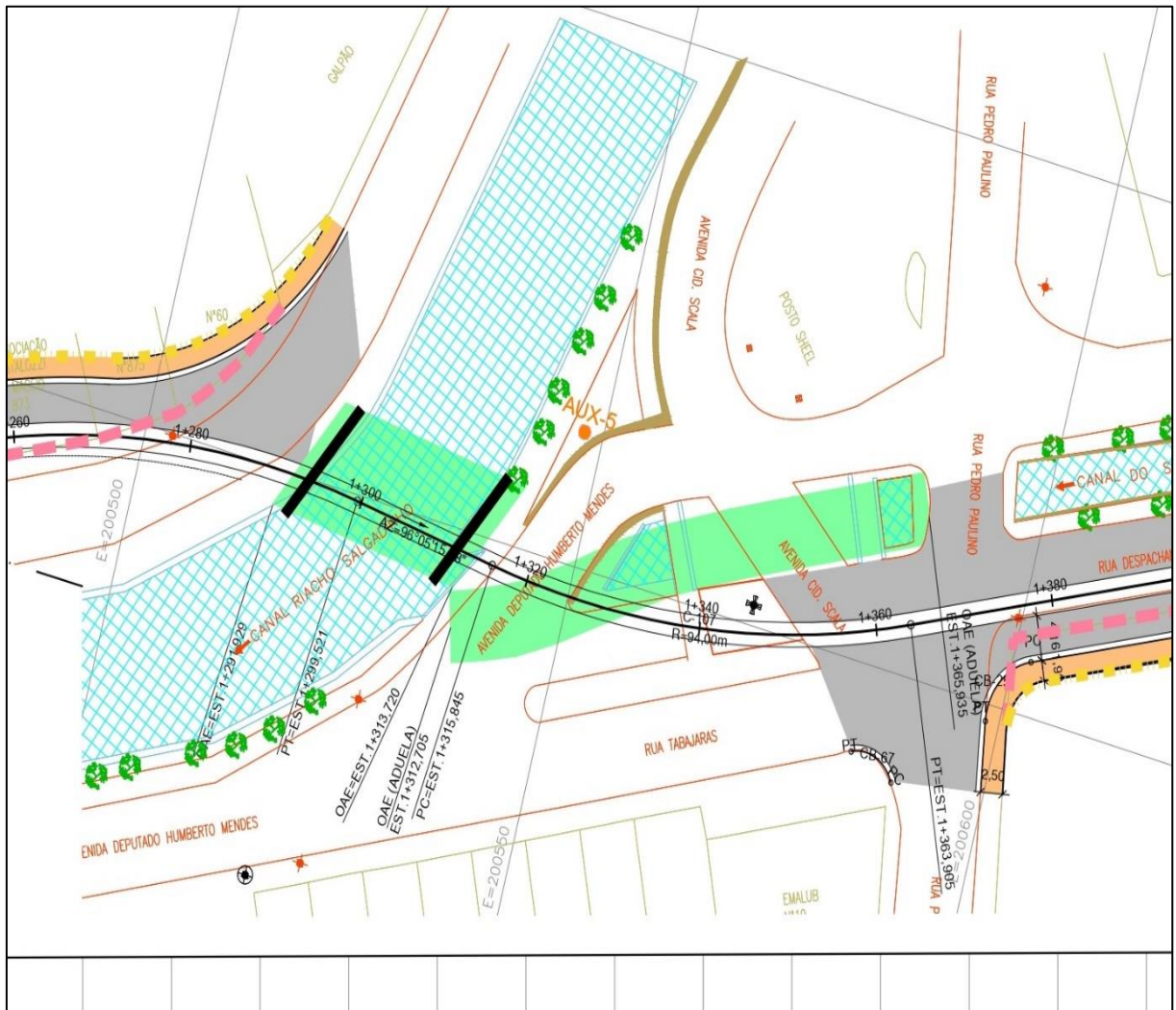
Fonte: CBTU, 2014.

De forma análoga à primeira prancha (Figura 10), são apresentadas na Figura 11 as mesmas inconformidades em relação ao termo de referência e a instrução normativa 07/CBTU, sendo utilizado na curva 106 um raio inferior ao que foi solicitado, 90 m, quando o termo exige 100 m. Além disso, não foi indicado o valor de Lc, bem

como, o estaqueamento não condiz com o que é estabelecido nos documentos de referência técnica. No perfil longitudinal não foram identificadas ausência ou erros que estejam em desacordo com o que estabelece os respectivos documentos.

A terceira prancha (Figura 12) compreende o trecho inserido entre as estacas 1+240 m a 1+600 m, conforme apresentado abaixo:

Figura 12 – Detalhe da terceira prancha.



Fonte: CBTU, 2014.

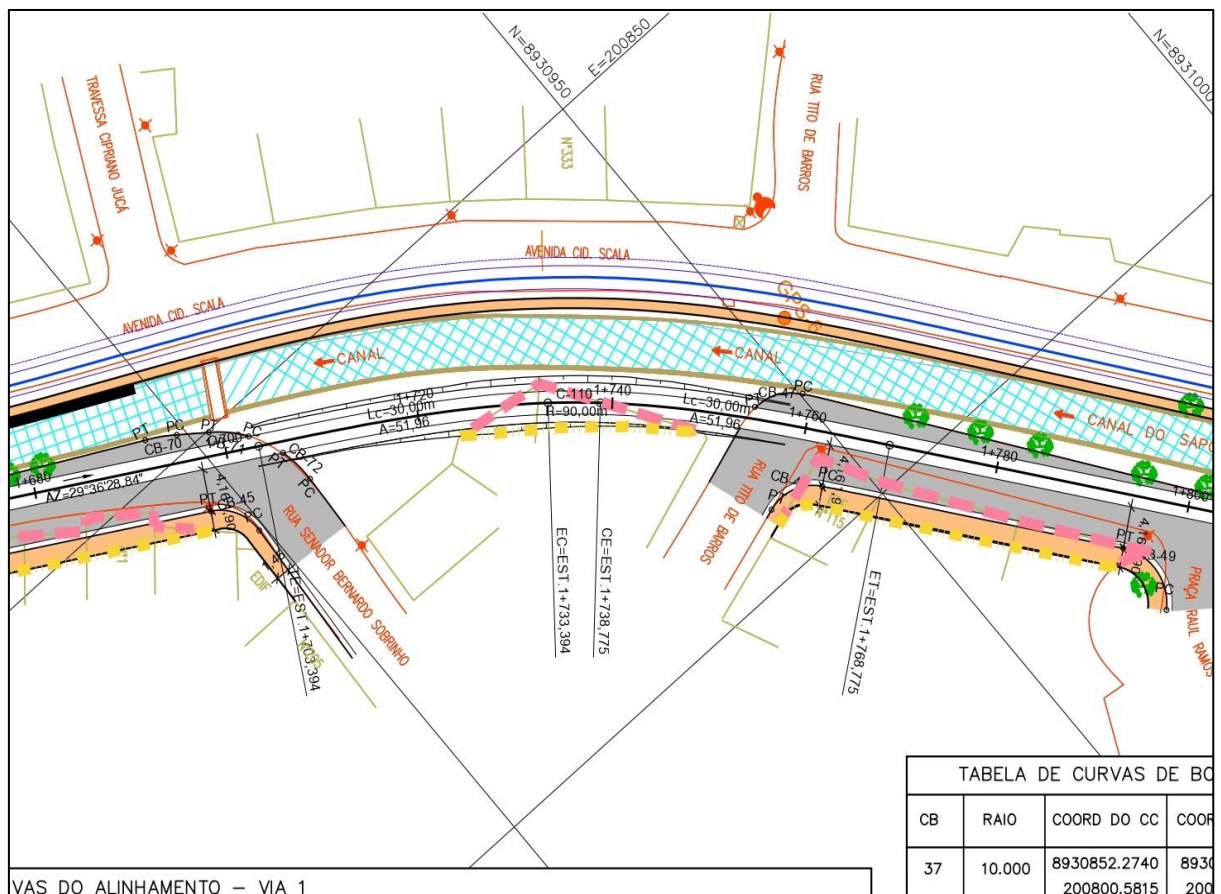
Nesta terceira prancha ocorre a repetição das mesmas inconcistencias já citadas nas pranchas anteriores, especificamente, em relação, ao estaqueamento e aos raios das curvas. Tendo que a curva 107 tem o raio de 94 m, mais uma vez inferior aos 100 m de raio mínimo estabelecido pelo termo de referência. Além do que, permanece a ausência da indicação do comprimento de transição (L_c).

O item 4.7 da it-007/CBTU descreve que entre curvas de sentidos opostos deverá ser prevista, sempre que possível, uma tangente mínima de 20 metros. Porém entre as estacas 1+299,521 m (final da curva 06) e a estaca 1+315,845 m (início da curva 107) temos uma distância 16,324 m, ou seja, inferior aos 20 m mínimos estabelecidos pela instrução normativa.

Quanto a curva 108, a mesma obedece ao raio mínimo estabelecido, porém nota-se a ausência do comprimento da transição.

A quarta prancha (Figura 13) compreende o trecho que vai da estaca 1+ 620 m a 1+980 m.

Figura 13 – Detalhe da quarta prancha.



Fonte: CBTU, 2014.

Nesta quarta prancha, mais uma vez percebe-se a ausência da indicação de valores relativos ao estaqueamento e aos raios das curvas, indicando a existência de uma padronização quanto a não indicação destas informações nos perfis longitudinais.

Pode-se notar que a curva 109 apresenta um raio de 90 m, inferior ao que o termo de referência estabelece como raio mínimo, bem como, a falta da indicação da curva de transição.

Já na curva 110 o raio de 90 m é inferior ao mínimo estabelecido como já citado, porém, foram adotadas duas espirais de transição. Neste caso, a inserção de duas curvas de transição para a curva circular de 90 m não foi esclarecida em desenho, visto que em outras curvas circulares de mesmo valor de raio e a mesma velocidade diretriz não foram empregadas curvas de transição.

Ainda assim, pode-se observar na Figura 13 a utilização do comprimento de transição de 30 m. No entanto, ao considerar o que estabelece a instrução normativa esse valor é insuficiente conforme demonstrado na Equação 1.

Na prancha cinco (Figura 14) permanece a ausência de informações relativas ao comprimento de transição, bem como discrepâncias relacionadas aos valores de raio e estaqueamento. Na curva 112 o raio indicado foi de 90 m, e as curvas 113 e 114 têm raios de 110 m e 100 m respectivamente, estando estas duas últimas curvas de acordo com o raio mínimo estabelecido no termo de referência. No que se refere às informações altimétricas não foram identificados erros ou exigência de informações relacionadas ao termo de referência.

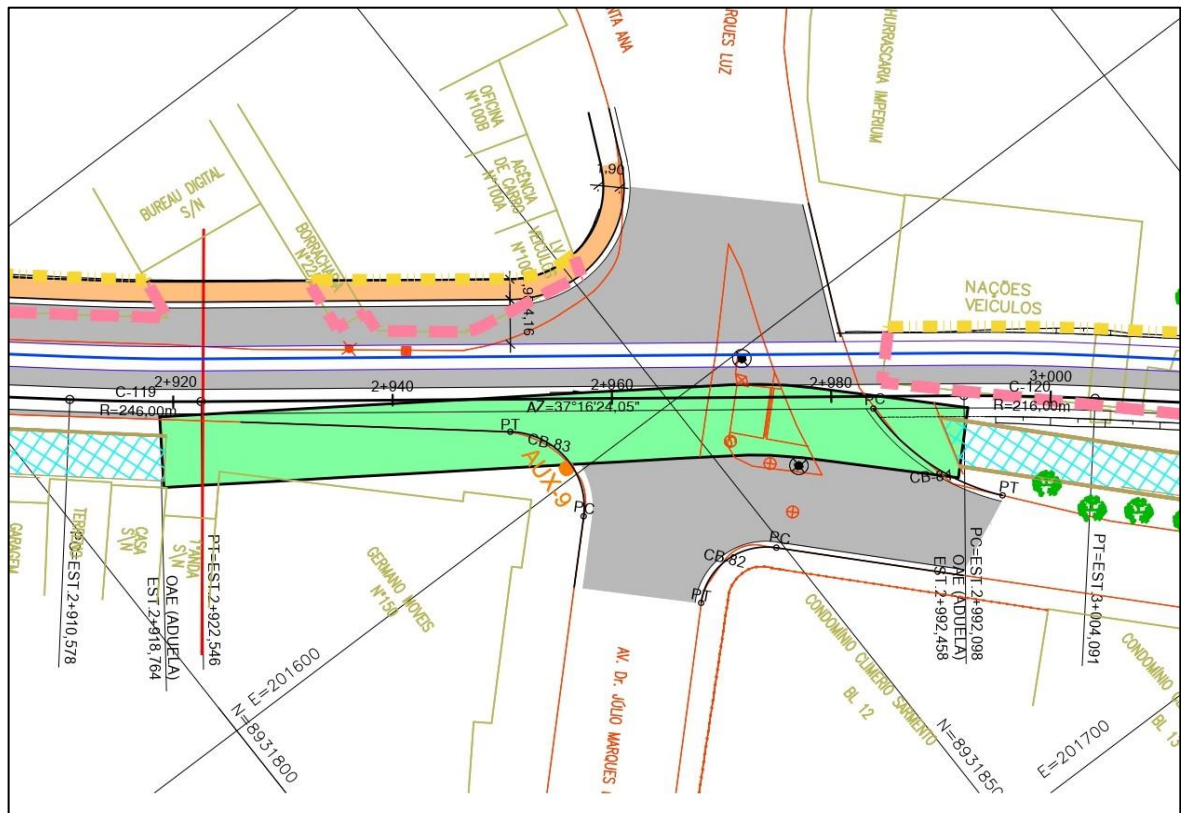
- Nona prancha (Figura 18): A curva 124 tem raio de 100 m de acordo com o mínimo estabelecido, ausência da indicação do Lc e o estaqueamento fora do padrão definido no termo de referência.

Figura 15 – Detalhe da sexta prancha.



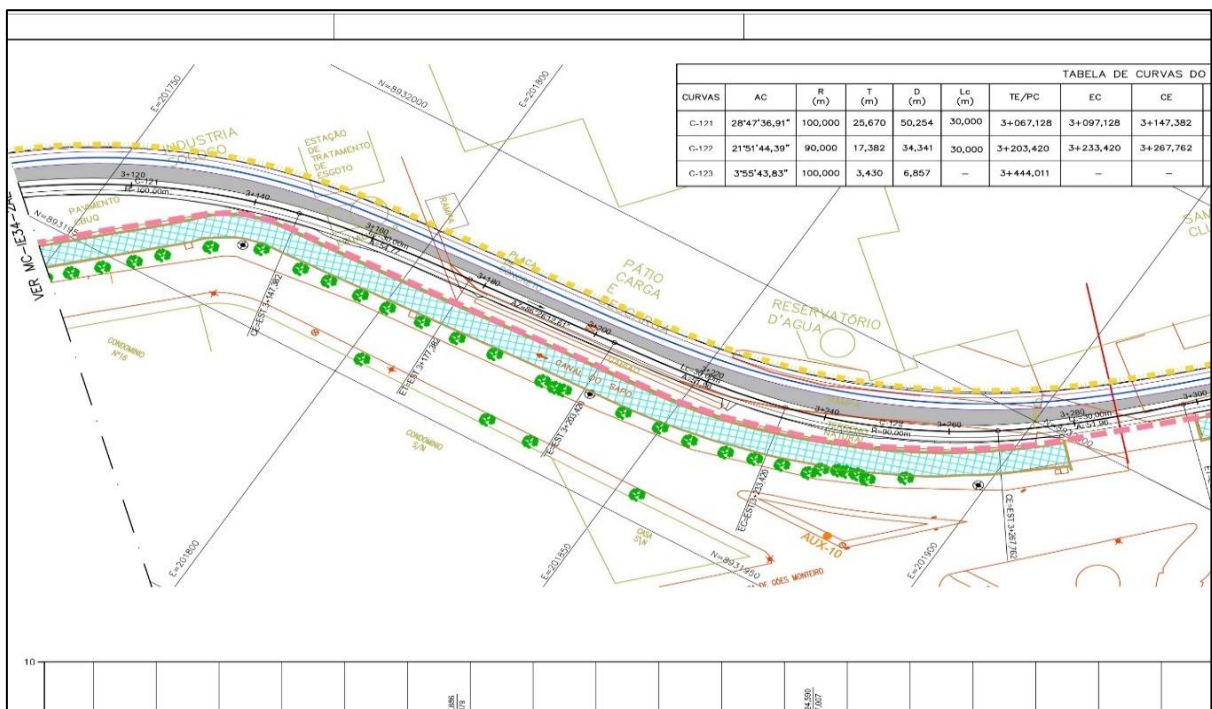
Fonte: CBTU, 2014.

Figura 16 – Detalhe da sétima prancha.



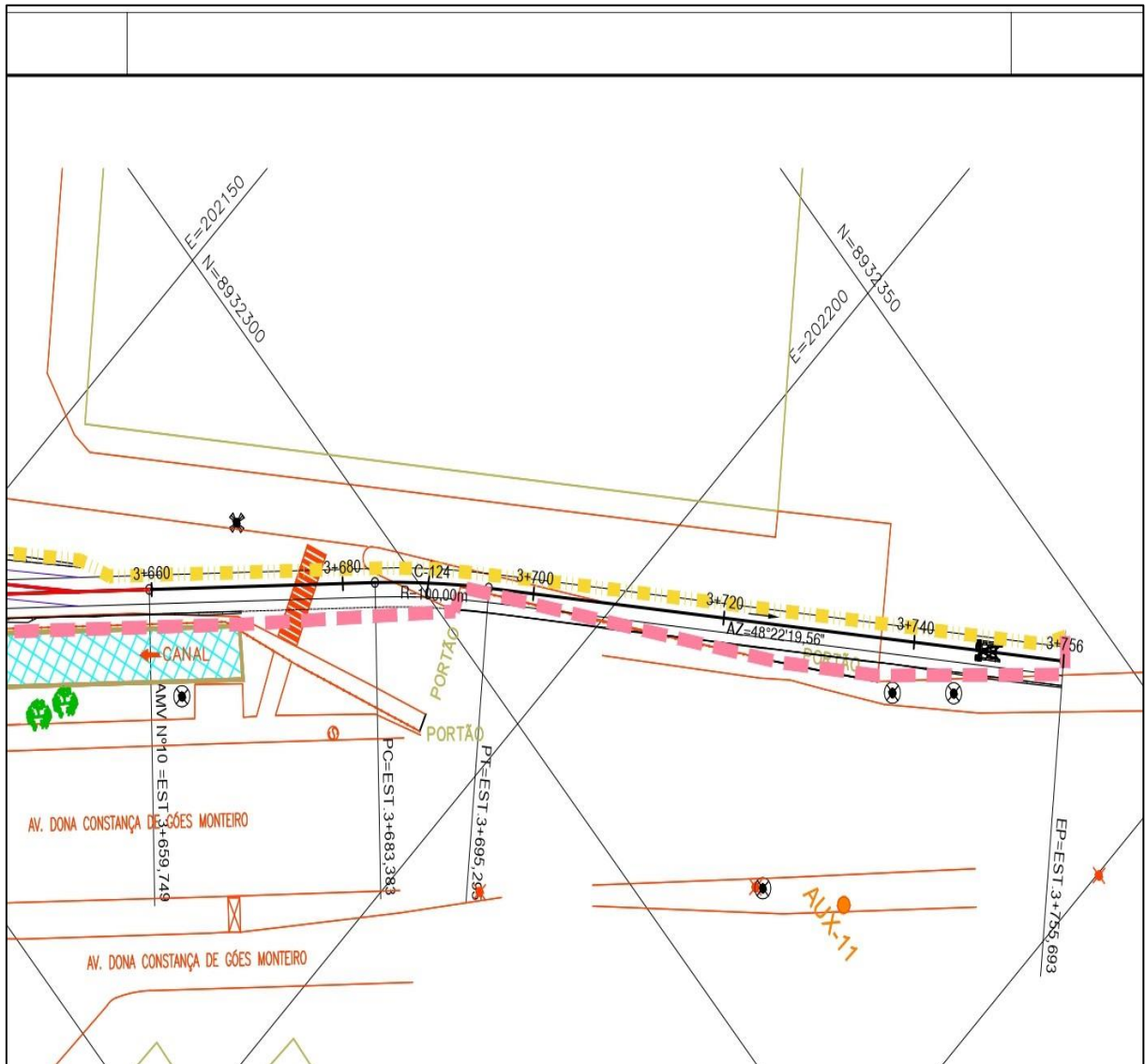
Fonte: CBTU, 2014.

Figura 17 – Detalhe da oitava prancha



Fonte: CBTU, 2014.

Figura 18 – Detalhe da Nona prancha.



Fonte: CBTU, 2014.

Para resumir as observações feitas no texto sobre a conformidade ou não das soluções técnicas no projeto, através das pranchas apresentadas, foi criada a tabela 1. Nela, os critérios não atendidos são representados com “X” e os atendidos “OK”. Quando existem duas curvas sendo que uma atende e outra não, como acontece na oitava prancha, discriminamos as curvas pelo seu número acrescido do “X” ou “OK” de acordo com o atendimento ou não do que exige o termo de referência.

Tabela 1 – Critérios do termo de referência divididos por prancha.

Prancha Nº	Estaqueamento	Raio mínimo	Comprimento da transição (lc)
1	X	X	X
2	X	X	X
3	X	X	X
4	X	X	X
5	X	X	X
6	X	OK	OK
7	X	OK	X
8	X	Curva 121 OK Curva 122 X	X
9	X	OK	X

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

7 CONCLUSÃO

De acordo com a instrução normativa 07 da CBTU o projeto deve ser desenvolvido de modo a se obter o melhor traçado (técnico e econômico) para o trecho em estudo. O termo de referência por sua vez afirma: “Denomina-se Projeto, o conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar, quantificar e orçar as obras e os serviços necessários para a implantação da expansão.”

O Projeto deve ser elaborado com base em estudos técnicos preliminares e nos levantamentos de campo, de forma a que se assegure a viabilidade técnica das intervenções.

O Projeto deve ser desenvolvido em conformidade com as diretrizes e parâmetros estabelecidos, no que couber às ferrovias, nas Normas Técnicas vigentes (DNIT) e da CBTU, e naquelas complementares e particulares necessárias para execução da obra.

O primeiro objetivo foi comparar o traçado definido com as exigências do termo de referência. O traçado definido apresenta uma diretriz que de fato é o melhor traçado possível de modo a proporcionar o menor impacto na circulação do sistema viário existente, o menor recobrimento em travessias de córregos e, também, a menor área a ser desapropriada como citamos no capítulo referente a área de estudo.

O segundo objetivo foi comparar o traçado definido com as normas estabelecidas, e ao fazer essa comparação notou-se que em todas as pranchas apresentadas foram detectadas soluções técnicas que não respeitam o que a instrução normativa da CBTU estabelece. Sendo assim, podemos afirmar que o objetivo de comparar foi atendido porém não da forma esperada, pois essas desobediências as normas inviabilizam totalmente a implantação do projeto.

O terceiro objetivo foi analisar se o projeto geométrico apresentado atende as exigências do edital de licitação. Pode-se dizer que da mesma forma que aconteceu no segundo objetivo o intento foi alcançado mas não da forma mais interessante haja visto que exigências não foram atendidas. Dessa forma, o projeto mais uma vez foi classificado como inviável.

REFERÊNCIAS

BORGES, G. O. **despertar dormentes: estudo sobre a Estrada de Ferro em Goiás e seu papel nas transformações das estruturas regionais**. 1909-1922. Ed Cefrag, 1990.

BORGES, G. O. **Ferrovia e modernidade**. Revista UFG: Dossiê Ferrovias, Goiânia, ano 12, n. 11, p. 27-36, dez. 2011

BRINA, H. L. **Estradas de ferro**. Livros Técnicos e Científicos, 1983.

COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANO (CBTU). **Estatuto Social**, 2015.

COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANO (CBTU). Disponível em: <https://rec.cbtu.gov.br/index.php/pt/a-cbtu/a-companhia/historico> Acesso em: 6 ago. 2022.

COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANO (CBTU). **IT07 – Elaboração de Projeto Geométrico**. Revisão 3. 1992.

COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENS URBANO (CBTU). **Documento técnico Vol. 3A – MEMÓRIA JUSTIFICATIVA E ESPECIFICAÇÕES COMPLEMENTARES TOMO I – VIA PERMANENTE**, 2017.

FERREIRA, Jardel Silva et al. Análise dos levantamentos topográficos 3D realizados por laser scanner e por RPA para projetos geoétricos de estradas. **PARAMÉTRICA**, v. 12, n. 13, p. 732-746, 2020.

IBGE. **Censo Demográfico – 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=0&uf=27>

MATOS, O.N. **Café e ferrovia: a evolução ferroviária de São Paulo e o desenvolvimento da cultura cafeeira**. São Paulo, Alfa-Omega Sociologia e Política, 1974.

História de Alagoas. <https://www.historiadealagoas.com.br/historia-das-estradas-de-ferro-em-alagoas-i-central-de-alagoas.html> Acesso em 4 de set. 2022.

KLINCENVICIUS, M. G. Y. **Estudo de Propriedades, de Tensões e do Comportamento Mecânico de Lastros Ferroviários**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 171, 2011.

LOBATO, P. **Dormentes ferroviários: Conceitos e características**. **BRFERROVIA**: engenharia ferroviária, 2021. Disponível em: <https://www.brferrovia.com.br/post/dormentes-conceitos-e-defini%C3%A7%C3%B5es> Acesso em: 4 de set. 2022.

LOBATO, P. **Via permanente: A superestrutura**. **BRFERROVIA**: engenharia

ferroviária, 2021. Disponível em: <https://www.brferrovia.com.br/post/via-permanente-superestrutura> Acesso em: 4 de set. 2022.

MATIAS, A. "**Mobilidade urbana no Brasil**"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/mobilidade-urbana-no-brasil.htm>. Acesso em 16 de setembro de 2022.

MUNICÍPIOS de Alagoas. 3. ed. Maceió:3. Ed. Instituto Arnon de Mello, 2012.

NABAIS, R. J. S. **Manual básico de engenharia ferroviária**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

PEREIRA, *et al.* **Projeto geométrico de rodovias**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010.

PORTO, T. G. **PTR 2501 - Ferrovias**. São Paulo, Brasil: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Transportes, 2004.

RAMOS, A. M. **Ferrovias em Alagoas no século XIX e nas primeiras décadas do século XX**. 2020. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em História) - Instituto de Ciências Humanas, Comunicação e Artes, Curso de História, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

RIBEIRO, R. L. (2018). **Análise automática de normas aplicada em projeto geométrico de superestrutura ferroviária**. Universidade Federal de Minas Gerais, 103. Disponível em https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOSB9EFJL/1/dissertacao_versao_final.pdf Acesso em 03 de nov. 2020.

RIBEIRO, *et al.* **Abordagem interpretativista e método qualitativo na pesquisa documental**: descrição geral das etapas de coleta e análise de dados. Blumenau: Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, 2023.

SIMÕES, R. B. A, *et al.* **Sistemas de transporte de passageiros de interesse regional e a revitalização da ferrovia**. TRANSPORTES, v. 5, n. 2, 1997.

SKYTTEBOL, A, *et al.* **Crescimento de trincas por fadiga em trilhos soldados sob influência de tensões residuais**. Engenharia Mecânica da Fratura , v. 72, n. 2, pág. 271-285, 2005.

Nordeste Notícias. Disponível em: <https://nordestenoticias.wordpress.com/2014/09/24/pac-empacado-menos-de-30-das-obras-de-ferrovias-e-hidrovi-as-foram-executadas/> Acesso em: 4 de set. 2022.

SOUZA, R. N. **Superelevação em curvas ferroviárias**: uma análise comparativa dos métodos de cálculo. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso.

Figura 20 – Segunda prancha.

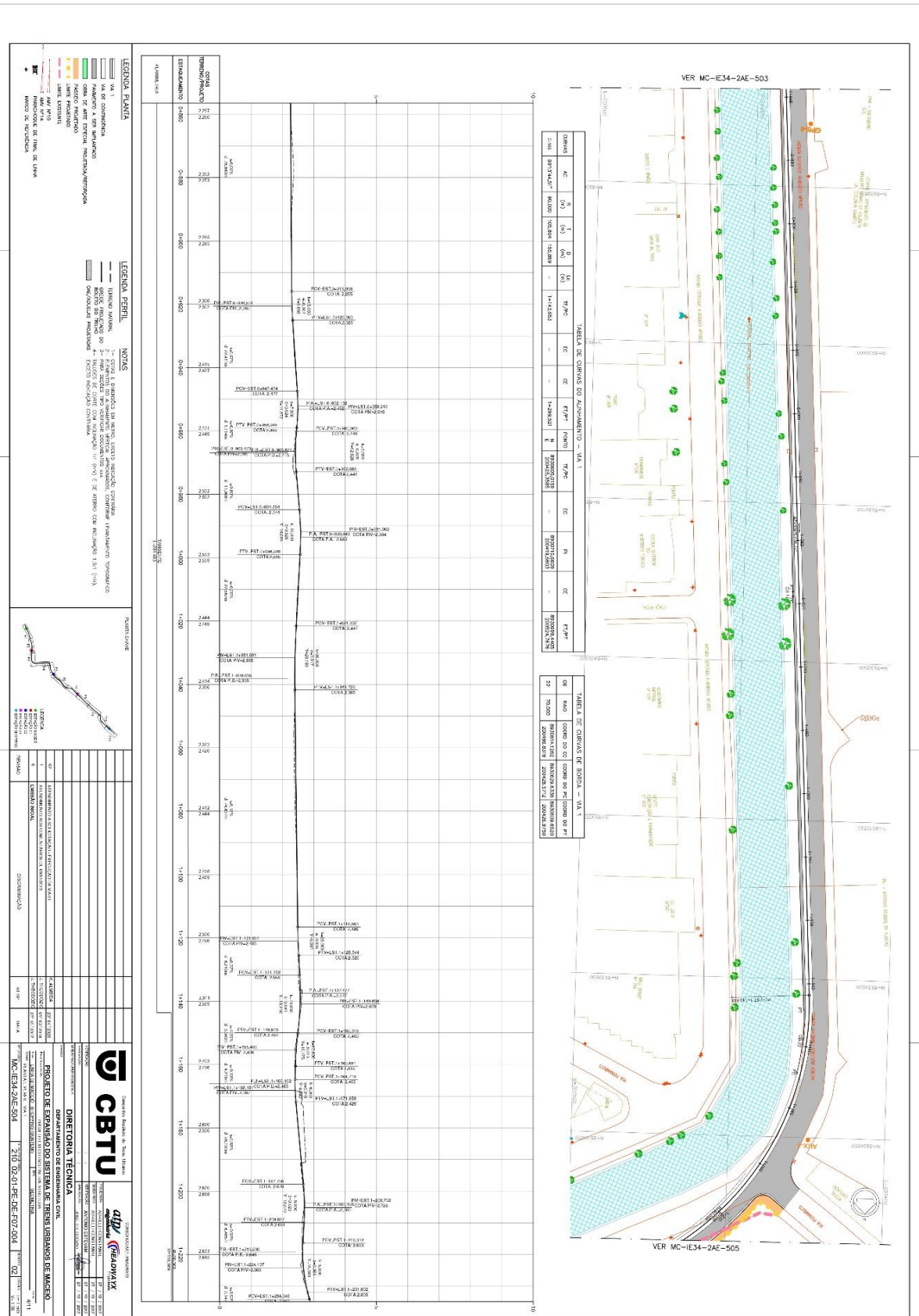


Figura 21 - Terceira prancha.

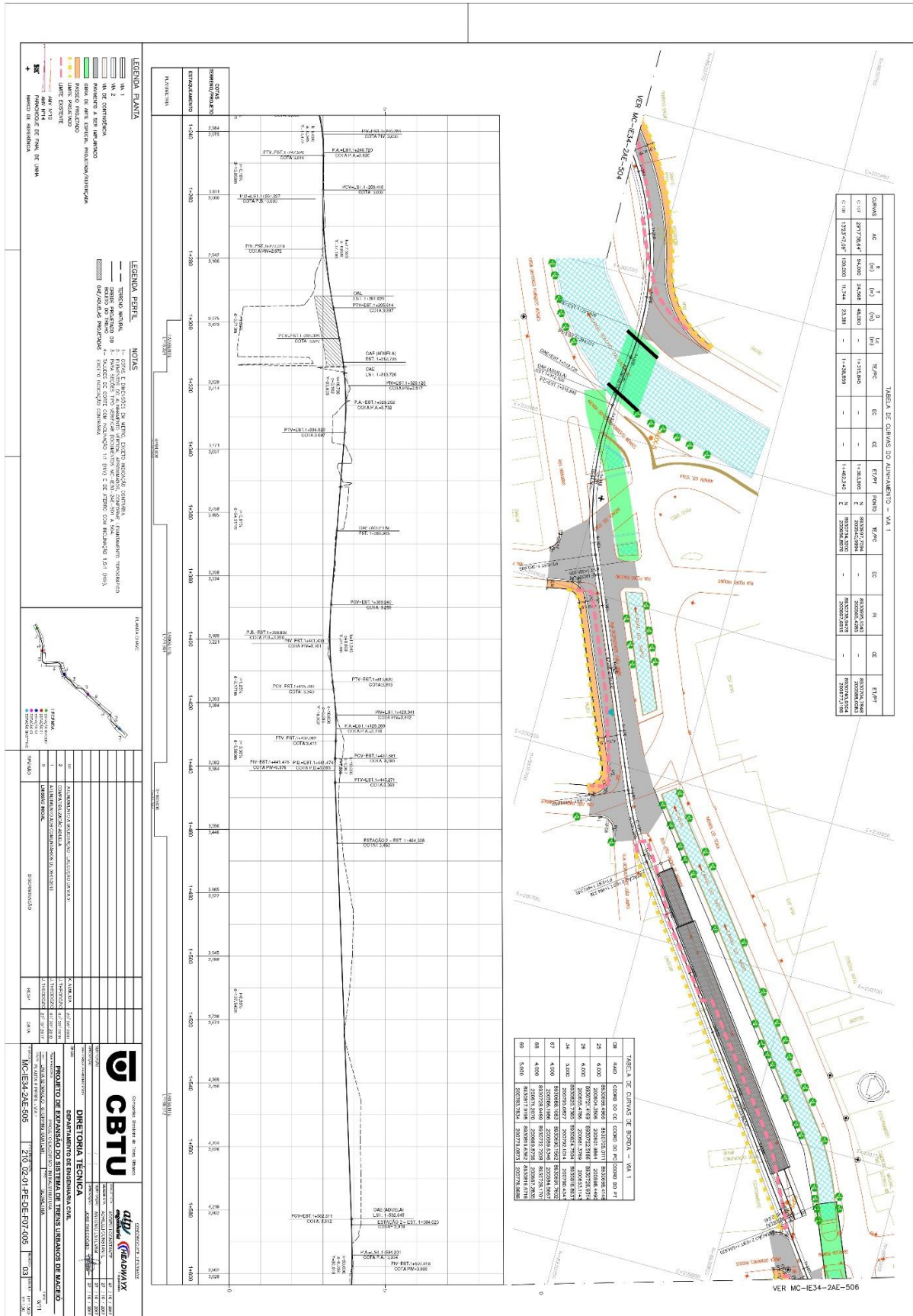


Figura 22 – Quarta prancha.

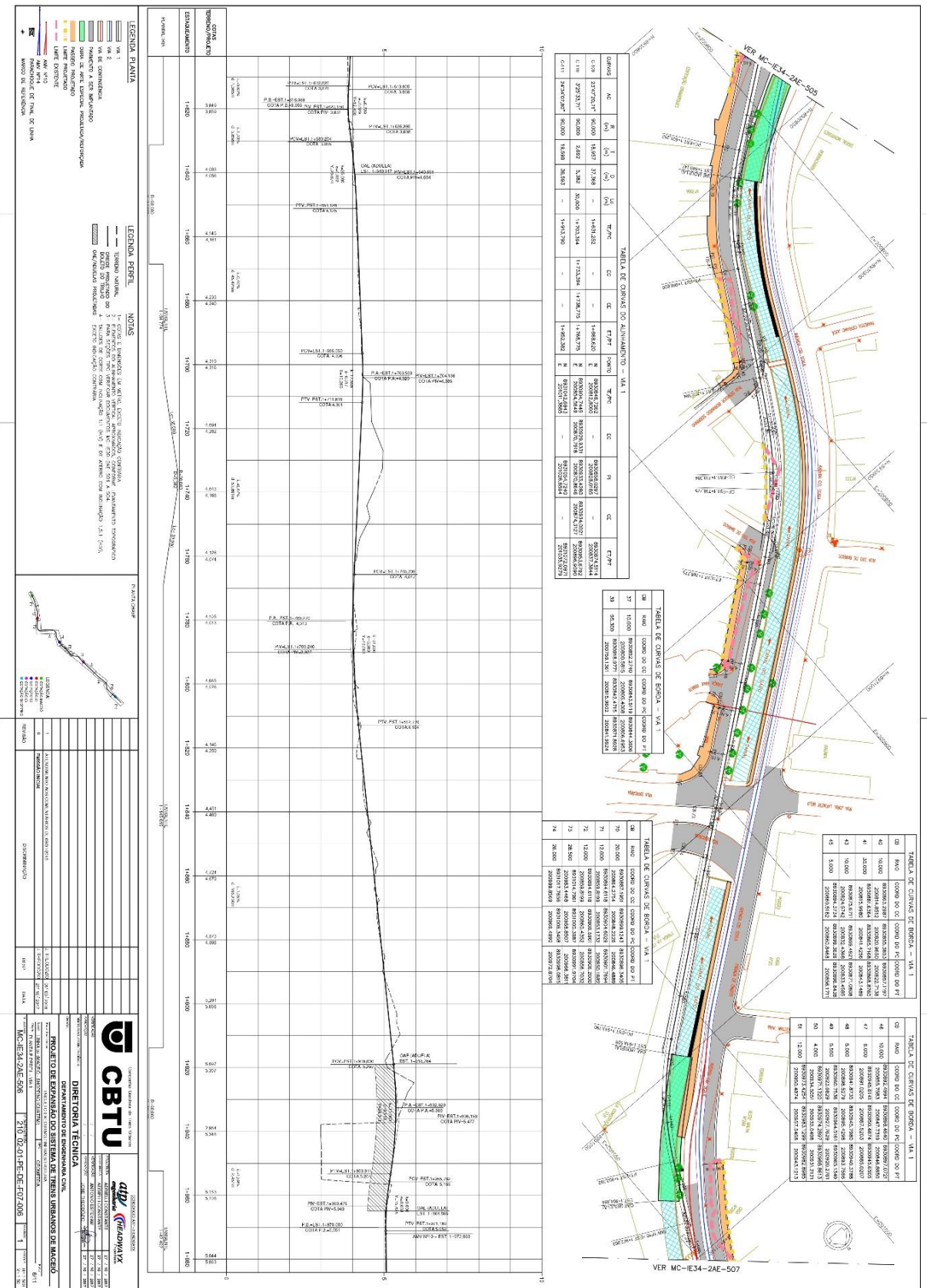


Figura 23 – Quinta prancha.

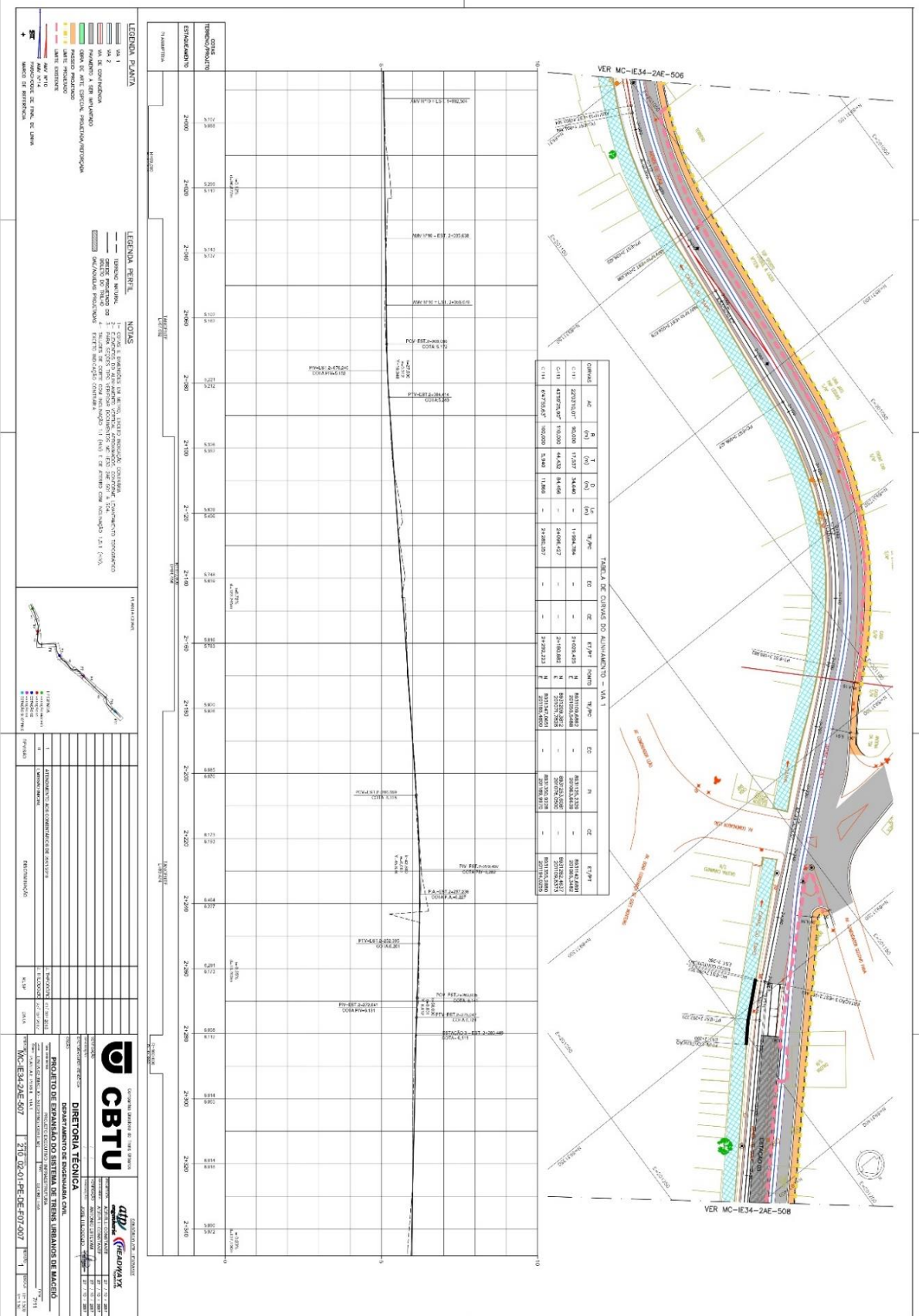


Figura 24 – Sexta prancha.

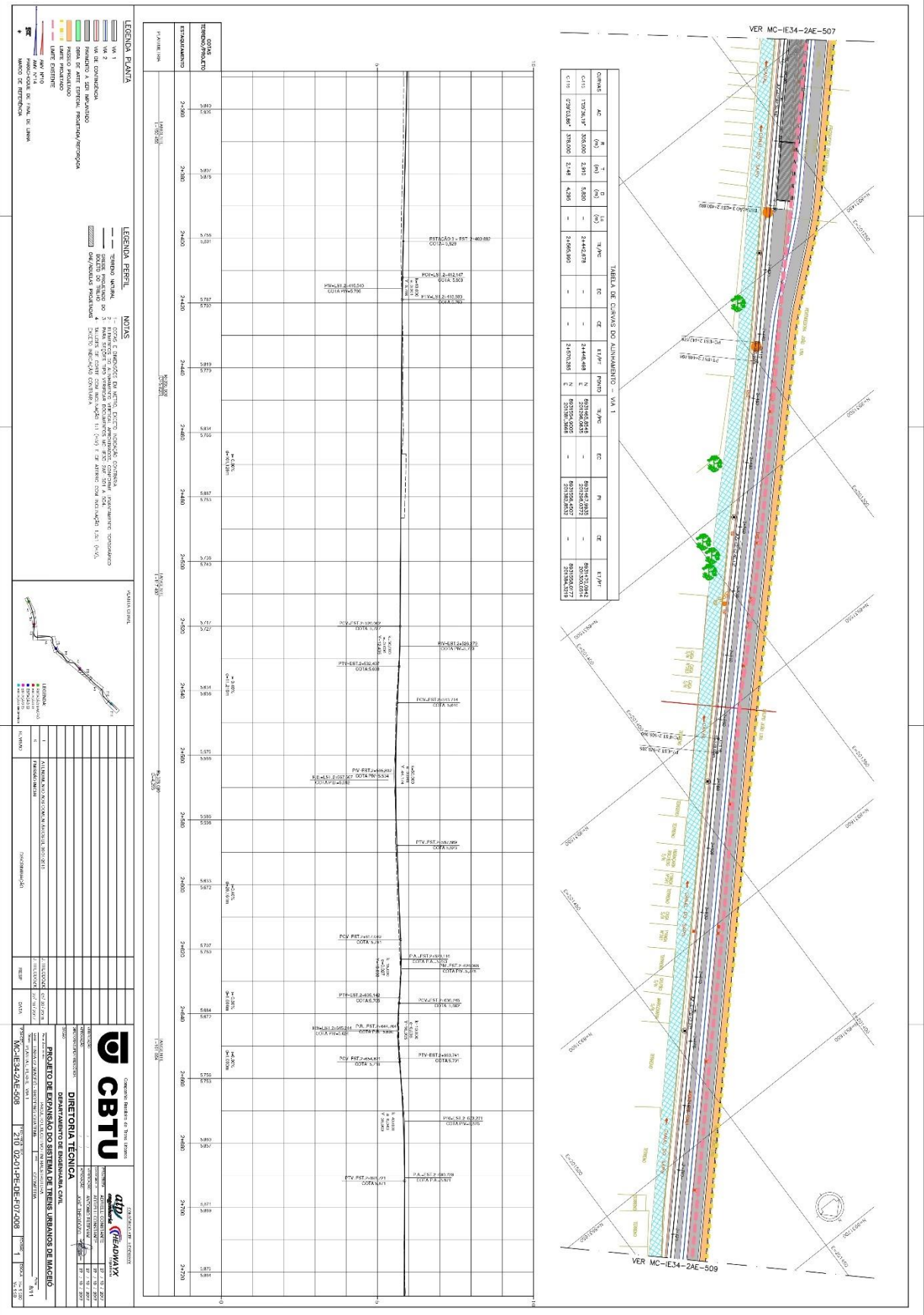
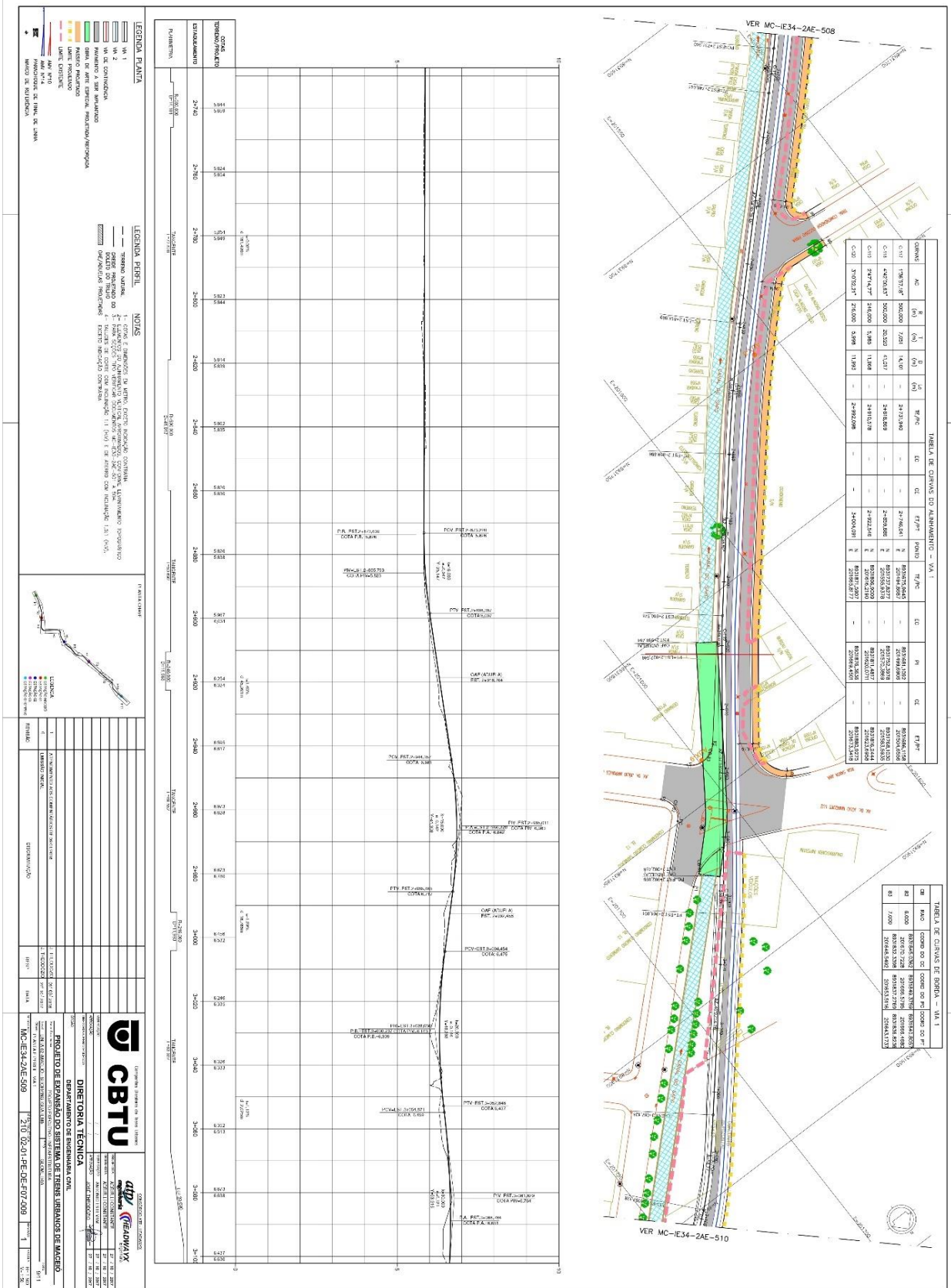


Figura 25 – Sétima prancha.



Fonte: CBTU, 2014.

Figura 26 – Oitava prancha.

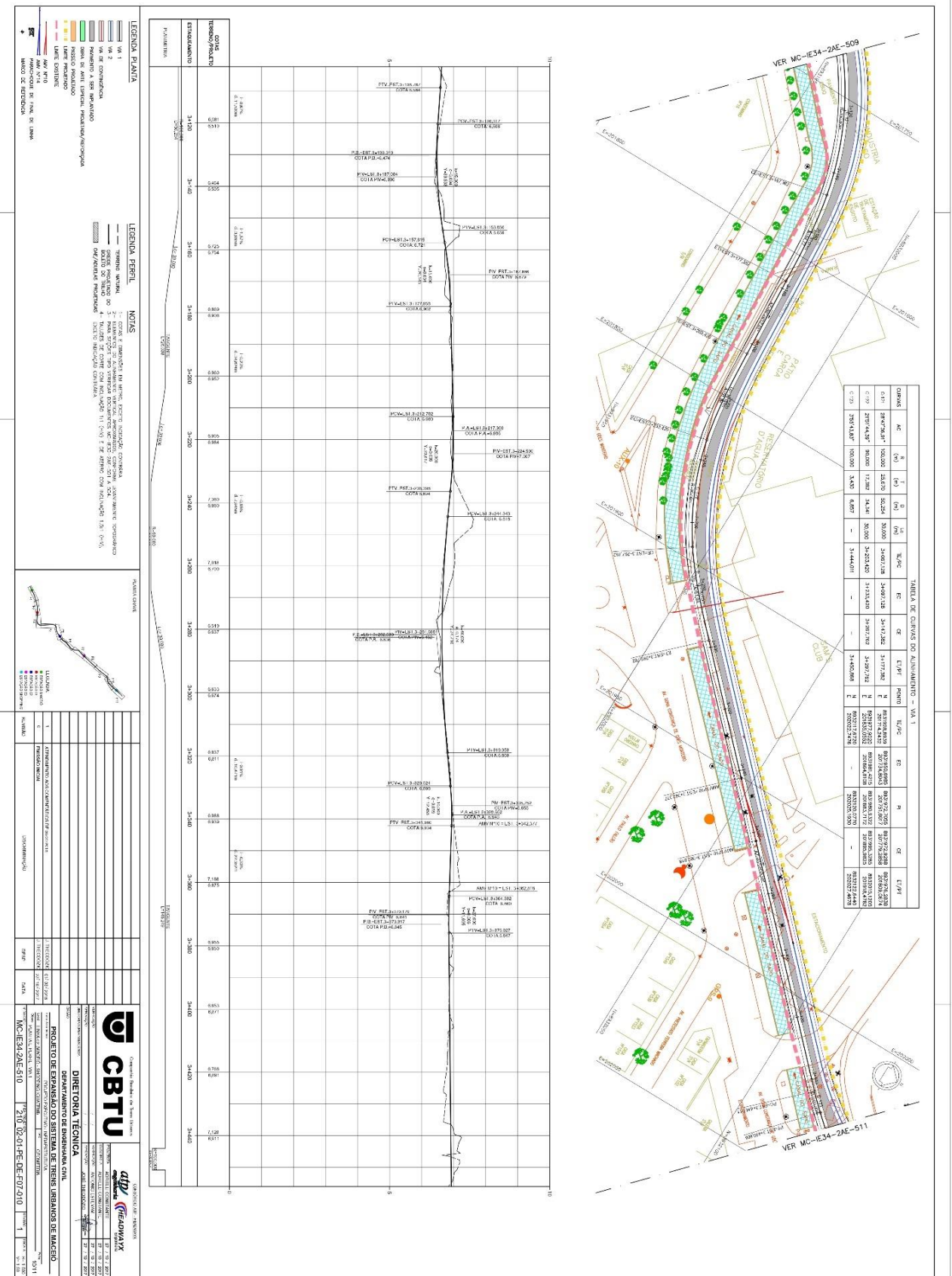


Figura 27 – Nona prancha.

