

# ESTUDO DA EXECUÇÃO DE PAVIMENTAÇÃO EM TRECHO URBANO

**Myllena Luna Lins**

mll1@discente.ifpe.edu.br

**Prof. Roubier Muniz de Sousa**

roubiermuniz@recife.ifpe.edu.br

---

## RESUMO

O objetivo do trabalho foi descrever as etapas de recuperação de pavimento, tendo como contexto a execução de terraplanagem, melhoramento de solo e a camada de pavimentação asfáltica. Foram realizadas melhorias em cinco ruas, escolhendo-se cuidadosamente o tipo de material mais adequado para cada situação específica visando a minimização de custo e atendendo as especificações. A rua escolhida para análise foi a 1ª Travessa da Rua Ribeiro Pessoa. Foi acompanhado a execução e fiscalização da obra de melhoramento de solo e execução do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e da capa asfáltica. Nessa pesquisa, utilizou-se o método de movimentação de terra de acordo com as diretrizes do Departamento Nacional de Infraestruturas de Transporte (DNIT). Esse procedimento envolve etapas essenciais para prevenir possíveis consequências futuras, como erosão e ondulação. Algumas adversidades foram encontradas e uma das principais foi a incompatibilidade do solo com a solução especificada na licitação, resultando em impactos significativos tanto financeiros quanto no cronograma.

Palavras-chave: Construção de estradas; Terraplanagem; Pavimentação asfáltica; Ensaios; Solos.

## ABSTRACT

The objective of this study was to describe the pavement rehabilitation stages, including earthworks, soil improvement, and the asphalt paving layer. Improvements were made to five streets, carefully selecting the most appropriate material for each specific situation to minimize costs and meet specifications. The street chosen for analysis was the 1st Crossing of Ribeiro Pessoa Street. The execution and supervision of the soil improvement work, as well as the application of the Hot Mix Asphalt Concrete

(HMBC) and the asphalt overlay, were monitored. This study used the earthmoving method in accordance with the guidelines of the National Department of Transportation Infrastructure (DNIT). This procedure involves essential steps to prevent potential future consequences, such as soil erosion and infiltration. Some challenges were encountered, one of the main ones being the incompatibility of the soil with the solution specified in the bidding process, resulting in significant financial and schedule impacts.

Keywords: Road construction; Earthworks; Asphalt paving; Testing; Soils.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Geovanna Nunes (2021), as vias pavimentadas trazem melhor conforto nos deslocamentos dos veículos e asseguram maior segurança, destacando a importância de uma boa manutenção nas estradas para prevenir acidentes e proporcionar maior estabilidade aos meios de transporte que as utilizam.

Considerando a relevância do transporte rodoviário para o país e seus diversos componentes, a pavimentação das vias assume um papel crucial no contexto da logística, do transporte e da relação custo-benefício dos brasileiros. É essencial que os procedimentos ligados à pavimentação das estradas sigam estritamente as normativas e diretrizes estabelecidas, dada a sua influência direta na qualidade de vida de muitas pessoas simultaneamente.

O pavimento desempenha diversas funções técnicas, entre as quais se destaca a necessidade de suportar e distribuir as cargas verticais geradas pelo tráfego. Além disso, ele deve oferecer condições adequadas de rolamento para garantir o conforto e a segurança à população, resistindo também aos esportes horizontais decorrentes do desgaste (Litaiff, 2022).

Senço (2007) diz que:

CBUQ, é o mais nobre dos revestimentos flexíveis. Consiste na mistura estabilizada de agregados, satisfazendo rigorosas especificações, e betume devidamente dosado. A mistura asfáltica é executada em usina apropriada, com controle de granulometria, teor de betume, temperaturas do agregado e do betume, transporte, aplicação e compressão, sendo mesmo o serviço de mais acurado controle dos que compõem as etapas da pavimentação.

Ao considerar os pontos mencionados, é viável realizar uma pavimentação com ótimas condições em todos os aspectos, desde o estrutural até o estético,

assegurando que o conforto e a mobilidade sejam uma constante nas rodovias. Para alcançar esse sucesso, é fundamental garantir todas as etapas para que as superfícies das estradas estejam em conformidade com os padrões definidos pelos órgãos competentes.

Os procedimentos de entrega de solo e terraplenagem são impactados por uma vasta variedade de elementos, que englobam condições edafoclimáticas e pedológicas, bem como outros aspectos, como características da máquina, limitações de tráfego, restrições de posicionamento ou como características próprias locais, além de fatores humanos associados (Pedreira, 2017).

A escolha desse assunto corresponde à exigência de compreender as fases de restauração de pavimentos asfálticos flexíveis, proporcionando à população uma locomoção confortável, segura e eficiente nessa malha viária. Assim, com o intuito de oferecer uma contribuição específica, este artigo apresentará de maneira prática os procedimentos de revitalização das camadas próximo a UPA da Caxangá, Recife - Pernambuco.

Este trabalho tem como objetivo descrever as etapas de construção do pavimento, tendo como contexto a execução de terraplanagem, melhoramento de solo e a camada de pavimentação asfáltica.

## **2 METODOLOGIA**

A pesquisa se desenvolveu com embasamento em modelos direcionados para implementação de rodovias. Nessa pesquisa, utilizou-se o método de movimentação de terra de acordo com as diretrizes do DNIT. Esse procedimento envolve etapas essenciais para prevenir possíveis consequências futuras, como erosão e infiltração no solo. As fases compreendem serviços iniciais (limpeza no local da construção), escavações (cortes), aterramento, nivelamento do subleito e compactação dos solos.

A obra analisada está localizada no Bairro da Caxangá, em Recife, Pernambuco, conhecida como Giro da UPA da Caxangá. Foram realizadas melhorias em cinco ruas, escolhendo-se cuidadosamente o tipo de material mais adequado para cada situação específica visando a minimização de custo e atendendo as especificações.

As ruas escolhidas na licitação foram Rua Ribeiro Pessoa, 1ª Travessa da Rua Ribeiro Pessoa, 2ª Travessa da Rua Ribeiro Pessoa, Rua Professor Dustan de Carvalho Soares e Rua Gastão Vidigal com Rua Elísio Medrado.

Figura 1 - Mapa de Situação da Obra



Fonte: A autora (2024)

## 2.1 Controle Tecnológico

O controle tecnológico foi realizado através de ensaios que permitiram a segurança da execução. O ensaio laboratorial foi conduzido com o objetivo de determinar os parâmetros para a seleção dos materiais a serem utilizados na construção dos aterros das duas ruas em análise. Foram realizados os ensaios de Proctor, Ensaio do Frasco de areia, Ensaio Speedy Test e análise granulométrica por peneiramento para a Sub-base de Solo Brita 65%-35%. Com isso, foi calculado o Grau de Compactação.

### 2.1.1 Análise Granulométrica – ABNT NBR 7181: 2016

A ABNT NBR 7181:2016 traz orientações detalhadas sobre como realizar a análise granulométrica dos solos, um passo essencial para entender o comportamento do solo em projetos de engenharia civil e geotécnica. Combinando métodos de peneiramento e sedimentação, ela permite identificar como as partículas estão distribuídas em

diferentes tamanhos, algo crucial para a compreensão mais eficaz dos materiais presentes naquele tipo de solo. Além de explicar como preparar as amostras e conduzir os ensaios, a norma também destaca os equipamentos necessários, como balanças, estufas e densímetros, e reforça a importância de mantê-los bem calibrados.

A partir desta norma, foi realizada a análise granulométrica por peneiramento, seguindo os seguintes passos: uma amostra de solo foi adicionada em uma bandeja e exposta ao ar para secagem. Posteriormente, procedeu-se à homogeneização do material para desfazer os torrões. Em seguida, o material foi pesado e colocado na peneira #10 (2,00 mm); o material retido foi designado como solo grosso, enquanto o que passou foi classificado como solo fino. No processo de peneiramento grosso, o material retido na peneira #10 foi lavado para remoção dos finos e, então, levado para a estufa. As peneiras com aberturas maiores ou iguais a #10 foram empilhadas em ordem crescente, com um recipiente sob a peneira #10 para coletar o material filtrado, sendo colocada uma tampa sobre a peneira de maior abertura para evitar perdas. Em seguida, o conjunto de peneiras foi inserido no agitador e, finalmente, realizou-se a pesagem do material retido em cada uma delas.

Figura 2 - Peneiramento



Fonte: A autora (2024)

### **2.1.2 Ensaio de Proctor – ABNT NBR 7182:2016**

A NBR 7182:2016, tem como objetivo orientar a realização de ensaios de compactação, fundamentais para compreender o comportamento do solo em projetos de engenharia civil. Ela descreve os procedimentos a serem seguidos e classifica os níveis de energia aplicados durante a compactação, normal, intermediária ou modificada, de acordo com as características do solo e as exigências do projeto.

Também são especificados os equipamentos necessários para a condução dos ensaios. O processo do ensaio é dividido em etapas que vão desde a preparação da amostra até a compactação e a medição do teor de umidade, fornecendo dados essenciais para avaliar a resistência e a estabilidade do solo.

A norma ainda traz referências importantes, como a ABNT NBR 6457, que trata do preparo adequado das amostras para que os ensaios de compactação sejam realizados de forma confiável e padronizada. Dessa forma o ensaio realizado foi o Proctor Intermediário, sendo definido por uma aplicação de 26 golpes em 05 camadas de solo.

Figura 3 - Ensaio de Proctor



Fonte: A autora (2024)

### **2.1.3 Ensaio do Frasco de Areia – ABNT NBR 7185:2016**

A NBR 7185:2016 define o procedimento para determinar a massa específica aparente de solos diretamente no local, utilizando o método do frasco de areia. Esse ensaio pode ser aplicado a diferentes tipos de solo, desde que sejam passíveis de escavação manual e apresentem estabilidade suficiente nas paredes da cavidade escavada, além de vazios pequenos o bastante para impedir a infiltração da areia do teste.

A norma descreve os equipamentos necessários, como frasco com funil, bandeja metálica, balanças, ferramentas de escavação e areia padronizada, além de orientar passo a passo a realização do ensaio. O processo envolve a medição da quantidade de areia que ocupa uma cavidade feita no solo e o uso de cálculos específicos para se obter a massa específica aparente seca.

Os resultados devem ser apresentados com três algarismos significativos e a unidade utilizada é gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). A umidade do solo também deve ser informada com precisão de 0,1%, e, caso não seja determinada em estufa, o método alternativo deve ser claramente mencionado.

Inicialmente, o frasco de areia foi preenchido com areia seca e pesado, o que é conhecido como peso do frasco mais areia seca mais cone. Uma amostra representativa do solo é coletada no local específico onde a medição da densidade será realizada, quando pesada é conhecida como peso do furo do solo úmido. O frasco de areia é então inserido no solo de modo que sua abertura fique nivelada com a superfície do solo. Após o posicionamento correto e compactação do frasco no solo, a tampa é removida e o solo ao redor é escavado com cuidado para preencher completamente o frasco com o solo in situ. Em seguida, o frasco de areia é retirado do solo de forma cuidadosa e pesado em uma balança de precisão, conhecido pelo peso restante da areia, mais frasco mais cone. Este peso, que inclui o peso do frasco vazio mais o peso do solo, é então registrado. Após o ensaio é calculado o grau de compactação.

Figura 4 - Ensaio de Frasco de Areia



Fonte: A autora (2024)

#### **2.1.4 Ensaio do Speedy Test – ABNT NBR 16097:2012/ME 052/94**

A NBR 16097:2012 apresenta métodos rápidos para determinar o teor de umidade em solos e em misturas de solo-cimento. São dois os procedimentos descritos: o método do umidímetro (Speedy), que se baseia em uma reação entre a umidade da amostra e carbureto de cálcio, e o método da frigideira, que consiste em secar a amostra em uma fonte de calor direta.

O método Speedy é mais preciso e indicado para solos arenosos, enquanto o da frigideira é uma alternativa prática e acessível em campo, especialmente quando há restrições de equipamento. A norma também esclarece definições importantes e orienta sobre a preparação adequada das amostras, como pulverização e peneiramento, além de destacar a importância da calibração correta do equipamento para assegurar resultados confiáveis.

O ensaio de Speedy Test é recomendado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) / Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), conforme especificado no Método de Ensaio ME 052/94. O solo úmido for colocado em um recipiente hermeticamente fechado, em contato com carbureto de cálcio. Posteriormente, o carbureto de cálcio reagiu para formar gás acetileno, resultando em aumento da pressão interna do recipiente.

Figura 5 - Ensaio Speedy Test



Fonte: A autora (2024)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

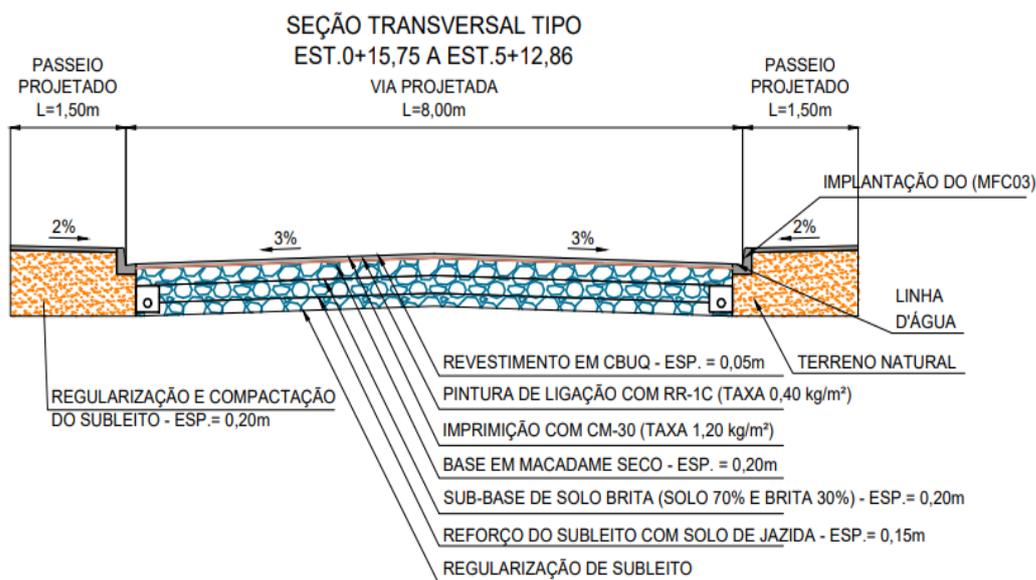
Foi acompanhado a execução e fiscalização da obra de melhoramento de solo e execução do CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) e da capa asfáltica. O projeto da obra previu a revitalização do pavimento existente com CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), drenagem, iluminação pública, paisagismo e sinalização vertical e horizontal. Quanto à implementação do CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) e da camada asfáltica, estes aderiram rigorosamente às diretrizes de serviço estipuladas pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes).

Para as demarcações do novo trajeto, seguiu as orientações do manual de projeto fornecido pela Prefeitura durante a fase de liberação das licitações. De acordo com o projeto, é necessário realizar a aplicação de 5 cm de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) em toda a extensão da via, abrangendo tanto a faixa de rolamento quanto os acostamentos.

#### 3.1 Execução

Para a execução deste pavimento foi importante observar as especificações dos projetos da licitação, como a necessidade de campo a fim de garantir a durabilidade e estabilidade do solo e do recapeamento. De acordo com a figura 6 o projeto seguiu as seguintes camadas: reforço do subleito com solo de jazida, da sub-base com 70% de solo e 30% de brita, da base utilizando macadame a seco e da camada asfáltica.

Figura 6 - Projeto das camadas da terraplanagem



Fonte: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação (2017).

Para obtenção desse resultado, foi adotado um valor de N igual a  $5 \times 10^6$  para o dimensionamento da pavimentação. No entanto, ao aplicar o método do USACE (U.S. Army Corps of Engineers), o valor calculado de N foi de  $4 \times 10^6$ . A justificativa apresentada para essa diferença utilizada foi que, no caso específico da via analisada, ela pode ser classificada como uma via subperimetral. Portanto, os cálculos foram realizados com uma margem de segurança projetada para atender a um período de 20 anos de forma categórica.

As camadas foram calculadas são as que são compostas em geral no pavimento asfáltico, composto por subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico, em ordem de aplicação. Contudo, dependendo do volume de tráfego, da capacidade de suporte do subleito, da rigidez e espessura das camadas, e das

condições ambientais, uma ou mais camadas podem ser eliminadas (Bernucci *et al.*, 2010a).

Considerando a importância do subleito como base onde todo o pavimento é apoiado, Marques (2010) destaca a importância de considerar as profundidades em que as cargas do tráfego atuam de maneira significativa (de 60 cm a 1,50 m de profundidade). Se o CBR (Capacidade de Suporte Califórnia) do subleito for menor que 2%, é necessário substituí-lo por um material de melhor qualidade; se estiver entre 2% e 20%, essa substituição deve ocorrer até pelo menos 1,00 metro de profundidade.

Figura 7 - Regularização do Subleito



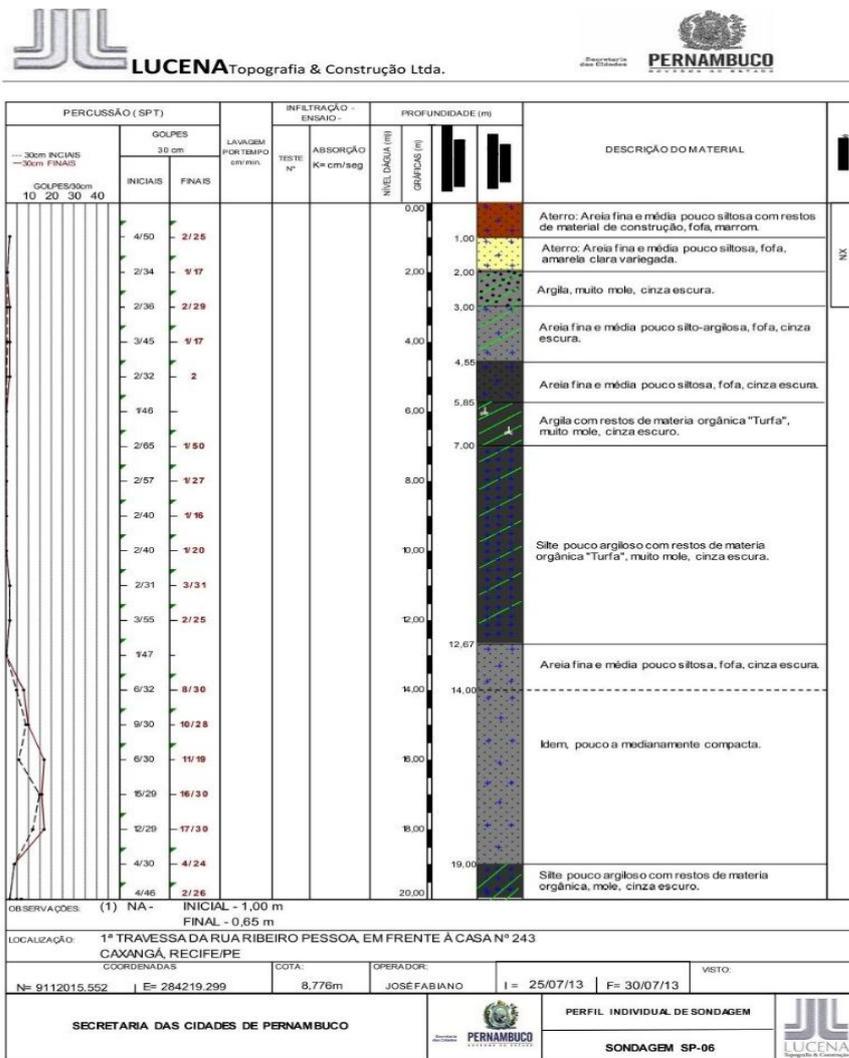
Fonte: A autora (2024)

Para melhorar as cargas verticais impostas, o reforço de subleito é frequentemente utilizado. É uma camada geralmente com 20 cm de espessura, composta por materiais granulares grosseiros e compactados, aplicada quando o subleito de estradas de terra tem baixa capacidade de suporte (DNIT, 2010). Apesar de não ser obrigatório, busca-se utilizá-lo por razões financeiras, visto que a execução com camadas granulares ou cimentadas mais espessas seria significativamente mais cara, bem como regularizar a espessura da sub-base (Balbo, 2007).

No estudo em questão, por meio do ensaio SPT, verificou-se a presença de uma camada de argila e silte presente. O solo em questão apresenta uma camada extensa

de solo mole, caracterizados por baixa resistência, alta deformabilidade e permeabilidade. Entretanto, o CBR (Capacidade de Suporte Califórnia) de projeto apresentado foi de 5% para efeito de cálculo. Conforme o ensaio de SPT apresenta, o subleito ainda que seja feito sua substituição parcial recebe cargas oriundas do tráfego. Observa-se que existe uma elevada suscetibilidade a futuros recalques, como também afundamentos e deformações. Seria interessante uma melhoria estrutural, como uma possível solução um melhoramento com solo brita em uma camada extensa. Contudo, a solução adotada no projeto consistiu no reforço do subleito com solo jazida com camada de 0,15 metros, contendo uma drenagem superficial para coletar as águas pluviais, visando evitar o acúmulo de água no solo.

Figura 8 - Ensaio de SPT



Fonte: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação (2017)

Após análise, o perfil de solo encontrado no local, foi identificado espessa camada de solo mole o que gerou mudança na solução inicialmente projetada, assim foi decidido remover a camada de 60 cm e reforçar o subleito com pó de pedra, uma vez que este apresenta maior resistência em comparação com solo de jazida. Estudos como o de Almeida (2006), o pó de pedra demonstrou ser viável, especialmente ao ser empregado como adição à areia para incrementar a resistência à compressão do material. Por ser mais fino e ter um preenchimento melhor com os vazios, ele torna-se mais resistente a compressão.

Figura 9 - Reforço de Subleito com Pó de Pedra



Fonte: A autora (2024)

Na sequência da execução da estrutura do pavimento, a camada de sub-base é a camada complementar à base, com funções semelhantes, aplicada sobre o subleito ou reforço do subleito (DNIT, 2010). Deve ser utilizada para regularizar a base de forma que a use quando não seja aconselhável executar a base diretamente sobre o leito.

Figura 10 - Sub-base de Solo Brita 65%-35%.



Fonte: A autora (2024)

Para a execução desta etapa, a área de aterro sobre o solo foi limpa, desempenada e verificou que não tinha excessos de umidade para execução da sub-base (DER, 2006). Após a limpeza, o material que foi misturado, pulverizado e umedecido na central de mistura, foi transportado por meio de caminhão basculante coberto por lona adequadas. O material foi espalhado na pista com o auxílio da motoniveladora e sendo compactado com rolo compactador, até concluir a camada de 20 cm de acordo com o projeto. Após o procedimento foi retirado amostras para ensaios de caracterização do material espalhado e de compactação.

### **3.2 Resultados dos Ensaios do Controle Tecnológico para Sub-base**

A sub-base escolhida foi de solo brita 70%-30%, com reutilização do solo existente. No entanto, ao realizar o ensaio de Composição Granulométrica, constatou-se que esses índices não foram satisfatórios. Após análise laboratorial, verificou-se que a combinação mais adequada, sem alterar a solução proposta, foi alcançada com percentuais de 65% para 35% pela Faixa C do DNIT.

Figura 11 - Ensaio de Composição Granulométrica para Sub-base de Solo Brita 65%-35%

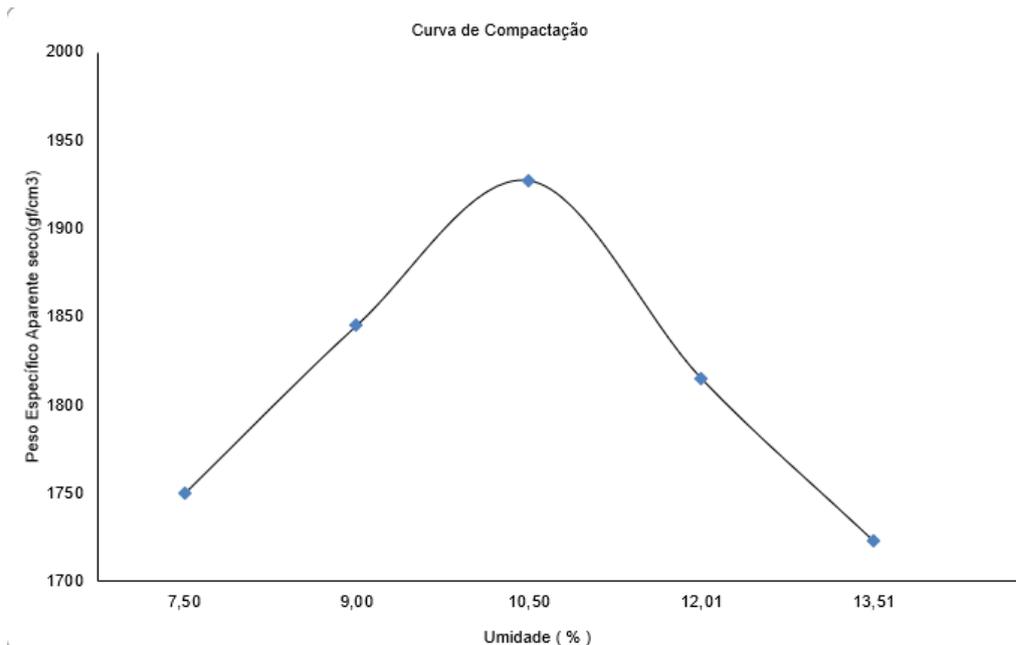
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DE AGREGADOS											
VIA: RUA S		TRECHO: _____									
DISTRITO: _____				FIRME: JEPAC							
COLETA DOS AGREGADOS: BRITA 19 LEMPA - Solo											
Ensaio de AGREGADOS PARA SOLO BRITA - Com 35% DE BRITA 19 LEMPA.											
E 65% de SOLO											
PENEIRAS	BRITA-19		Solo		GRANULOMETRIA DA MISTURA		FAIXA DO PROJETO		FAIXA DENIT		
	Limpa 35%		65%								
2"											
1 1/2"	1000	350	1000	650			1000			100	
1"											
3/4"											
1/2"											
3/8"	11,4	4,0	94,3	61,3			65,3			50-85	
N.º 4	2,0	0,7	89,6	59,2			59,9			35-65	
N.º 10	1,0	0,3	71,7	46,6			46,9			25-50	
N.º 40	0,7	0,2	36,2	23,5			23,7			15-30	
N.º 60											
N.º 200	0,2	0,1	7,7	5,0			5,1			5-15	

Operador: EQUIPE      Data: 04, 02, 2024      Visto: *[Assinatura]*

Fonte: Laboratório da Usina da Empresa Jepac (2024)

Após a realização do ensaio de Composição Granulométrica, os dados foram utilizados para calcular a umidade ótima e resultou em uma umidade ótima de 10,5% e uma densidade máxima de 1927 g/cm<sup>3</sup>. Com esses resultados foi feita a curva de compactação como mostra a Gráfico 1.

Gráfico 1 - Curva de Compactação



Fonte: A autora (2024)

No campo foram feitos os ensaios de Speedy Test e outro do Frasco de Areia. A umidade encontrada no Speedy Test foi de 12,3%. Com os resultados obtidos no ensaio do Frasco de Areia, foram feitos os cálculos para obtenção do Grau de Compactação em três amostras retiradas do solo. A umidade aplicada nos cálculos foi retirada no ensaio anteriormente mencionado.

Tabela 1 - Planilha dos dados obtidos no Campo

DETERMINAÇÃO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO					
CAMADA		N°	S. BRITA	S. BRITA	S. BRITA
FURO		N°	1	2	3
PROFUNDIDADE (cm)	DE	-	0	0	0
	A	-	20	20	20
DATA		-	05/03/2024	05/03/2023	05/03/2023
ESTACA		-	06+00	04+00	02+00
POSIÇÃO		E.X.D	D	X	E
PESO DO FRASCO COM AREIA	ANTES	A	6000	6000	6000
	DEPOIS	B	3620	3600	3640
	DIFERENÇA	A-B	2380	2400	2360
FUNIL		N°	1	1	1
PESO DA AREIA NO FUNIL (g)		C	490	490	490
PESO DA AREIA DO FURO (g)		A.B.C=P	1890	1910	1870
DENSIDADE DA AREIA (g/cm³)		d	1250	1250	1250
VOLUME DO FURO (cm³)		V=P/d	1512	15288	1498
UMIDADE		h%	12,3	12,3	12,3
PESO DO SOLO ÚMIDO (g)		Ph	3300	3280	3320
PESO DO SOLSO SECO (g)		Ps=Ph/100+h	2938	2921	2956
DENS. DO SOLO SECO (g/cm³)		Ds=Ps/V	1943	1912	1976
ENSAIO LANORATÓRIO	REGISTRO	N°	1	2	3
	DENS. MÁX (g/cm³)	Dm	1927	1927	1927
	UMID. ÓTIMA	h%	10,5	10,5	10,5
GRAU DE COMPACTAÇÃO (%)		%=Ds/Dm	101%	99,90%	102%

Fonte: A autora (2024)

Observando a Tabela 1, os resultados das amostras variaram entre 99,9% e 102%. Neste caso, o CBR (Capacidade de Suporte Califórnia) apontou um resultado próximo a 100%. A norma DNIT (Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes) 138/2010 – ES responsável pela especificação em sub-base estabilizada granulometricamente aponta que os valores do grau de compactação não podem ser inferiores a 100%. Neste caso, a média dos valores deram acima, por tanto, a sub-base foi aprovada e pode executar a camada da base.

A camada da base de pavimentação foi projetada para resistir aos esforços verticais causados pelos veículos, distribuindo-os de maneira adequada à camada subjacente, aplicada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito (DNIT, 2010).

A Base foi de Macadame a Seco sendo conduzida por um caminhão basculante. Na obra a distribuição do material na pista ocorreu com o suporte da motoniveladora (patrol), concluindo conforme as especificações do projeto. Não foi colocado o pó de pedra no mesmo dia, apenas no dia posterior foi utilizado a patrol para regularizar e o rolo compactador liso para compactar.

Figura 12 - Execução de Base de Macadame a Seco



Fonte: A autora (2024)

A camada de revestimento que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos, visando melhorar a segurança e o conforto dos usuários (DNIT, 2006). Essa camada deve resistir aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, que variam em velocidade e carga (Bernucci *et al.*, 2010b). Deve ser composta por materiais adequadamente aglutinados para evitar movimentação horizontal, garantindo que desempenhe suas funções, como receber cargas dinâmicas ou estáticas, sem sofrer desagregação de componentes ou deformações plásticas ou elásticas (Balbo, 2007).

### 3.3 Classificação de Pavimentos

Os revestimentos para pavimentação podem ser categorizados como flexíveis, semirrígidos e rígidos. No projeto foi escolhido a pavimentação asfáltica, a qual se encontra como pavimentação flexível. Como dito anteriormente, as camadas tem como necessidade suportar as cargas verticais que são aplicadas.

Quando submetidas a cargas, as camadas desses pavimentos experimentam deformação elástica considerável, resultando em uma distribuição de carga aproximadamente uniforme entre elas. Um exemplo seria o pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, coberto por uma camada asfáltica (DNIT, 2010).

Pertencentes comumente aos pavimentos asfálticos, os pavimentos flexíveis são formados por materiais granulares, misturas de solos ou solos, sem a presença de agentes cimentares. Sua estrutura compreende uma capa asfáltica, apoiada por camadas de base, sub-base e reforço do subleito. Geralmente, o revestimento é sujeito a esforços de compressão e tração devido à flexão, enquanto o restante das camadas está principalmente sujeito a compressão (Marques, 2010).

### **3.3.1 Asfalto**

O betume é um derivado das refinarias, obtido por meio do processo de destilação fracionada. Nessa técnica, o petróleo bruto é aquecido, e suas frações mais leves (como gasolina, querosene e gasóleo) são separadas. O material remanescente no fundo da torre de destilação consiste em produtos asfálticos. Esses produtos são então combinados com uma porção de nafta pesada, previamente extraída, a fim de adquirir as propriedades estipuladas pela ANP, resultando na produção de cimento asfáltico de petróleo (CAP) (Brasil, 2020).

Para a aplicação do CBUQ deve-se atentar para a limpeza inicial de forma que elimine qualquer material contaminado à mistura. Dessa forma, A Base encontra-se devidamente preparada para receber o CM-30, garantindo melhor aderência dos grãos ao pavimento asfáltico. O CM-30 é uma emulsão asfáltica modificada de cura média (CM), o qual resulta de um ADP (Asfalto Diluído de Petróleo), sendo um produto menos denso que o CAP (Madureira, 2023). De acordo com a Norma DNIT 144/2014 -ES o CM-30 serve para criar aderência entre o pavimento e o novo revestimento asfáltico e impermeabilizar.

Em seguida, é necessário realizar a aplicação da pintura de aderência com RR-1C, cuja finalidade é promover a união entre a superfície do pavimento atual e a nova camada de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). A pintura de ligação caracteriza por uma aplicação de emulsão asfáltica modificada por polímero sobre a superfície já imprimada ou em um revestimento betuminoso anterior, conforme a Norma DNER-ES 395/99. A Emulsão Asfáltica Ruptura Rápida (RR) de carga iônica catiônica (C) e o número de faixa de viscosidade 1 indicada pela NBR 14491, conhecido como RR-1C, é feito pela emulsão de uma fase asfáltica em fase aquosa. A pintura foi realizada por meio do caminhão espargidor, o qual aplicou o asfalto diluído sobre a imprimação.

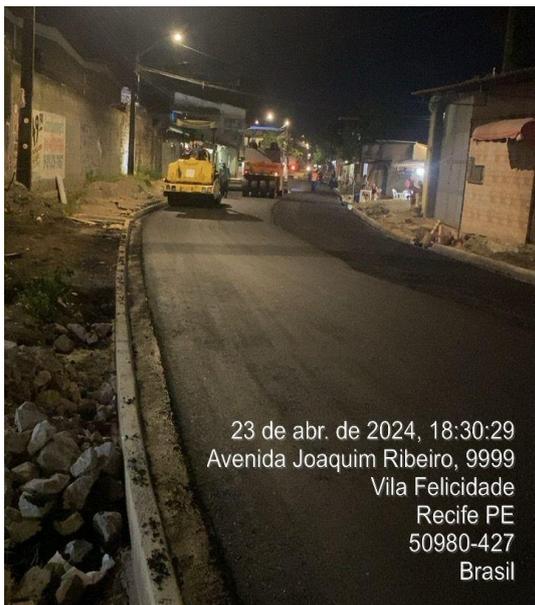
Figura 13 - Pintura de Ligação RR-1C



Fonte: A autora (2024)

Após a pintura de ligação, o material é basculado na vibroacabadora. A qual espalha o CBUQ de forma nivelada no terreno com a pintura de ligação. O rolo pneu fez a primeira compactação e depois o rolo compactador liso faz a compactação final da camada e o acabamento é feito com os rastelos.

Figura 14 - Aplicação de CBUQ



Fonte: A autora (2024)

Após a obra concluída e todo monitoramento atualizado deve-se realizar uma inspeção para verificação *in loco* do atendimento das condições previstas de projeto no campo. As observações importantes a serem consideradas é em casos de trechos do solo estarem “borrachudos”, ou seja, o solo comprime, mas logo se expande. Nestes casos, são necessários a remoção da parte danificada e é substituída por um novo material na situação desejada, ou substituir todo o material por outro de acordo com novos cálculos.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS/ CONCLUSÕES**

O presente trabalho deu a oportunidade de desenvolver o conhecimento da terraplanagem, melhoramento de solo e execução de pavimento asfáltico em trecho urbano (1ª Travessa da Rua Ribeiro Pessoa no Bairro da Caxangá, Recife). Diversos desafios surgiram durante a execução da obra, o que resultou na impossibilidade de entrega dentro do prazo estabelecido. Uma das principais adversidades foi a incompatibilidade do solo com a solução especificada na licitação, resultando em impactos significativos tanto financeiros quanto no cronograma.

É intrínseco dizer que as tomadas de decisões durante todo o processo de execução são de suma importância para alcançar melhores resultados, bem como o

treinamento da equipe para observância das diretrizes estabelecidas no projeto. O conhecimento sobre as normas e todo o processo construtivo é satisfatório uma vez que ocorre a precisão dos dados e controle de qualidade procedimental. Uma vez que ocorre o atendimento das normas previstas para a execução e o cálculo do grau de compactação não ser inferior a 100%. Percebe-se que as condições dos maquinários utilizados são importantes devido ao desempenho do solo compactado as cargas solicitadas de tráfego.

Para próximos projetos, é essencial considerar a análise de controle do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), incluindo o ensaio de Marshall para avaliar a densidade máxima, além do ensaio de CBR (Capacidade de Suporte Califórnia). Um fator importante a ser analisado futuramente é o orçamento no qual foi impactado durante a necessidade de mudanças na aplicação.

## REFERENCIAS

ALMEIDA, Maria das Vitórias Vieira de. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2006. Acesso em: 21 abr. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Solos — Preparação de Amostras. ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo — Análise Granulométrica. ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solos – Ensaio de Compactação. ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185**: Solos – Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia. ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14491**: Emulsões asfálticas - Determinação da viscosidade Saybolt Furol. ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16097**: Solos – Determinação do teor de umidade – Métodos expedito de ensio. ABNT, 2012.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. 2007. Acesso em: 06 jan. 2024.

BERNUCCI, Liedi Bariani; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros** – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. Acesso em: 18 jan. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **NORMA DNER-ES 395/99**: Pavimentação - pintura de ligação com asfalto polímero. DNER, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. DNIT, 3 ed. 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 139/2010 – ES**: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. DNIT, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 144/2014 – ES**: Pavimentação – Imprimação com ligante asfáltico – Especificação de serviço. DNIT, 2010.

DORNELAS, Ricardo Cruvinel. **Estudo de métodos para prognóstico da produtividade na execução de rodovias**: terraplanagem e pavimentação asfáltica - uma nova abordagem / R.C Dornelas. - versão corr. - São Paulo, SP, 2013. Acesso em: 13 jul. 2024.

FILHO, Pedro Tadeu Jordão; MARCO, Gerson de; FLORIAN, Fabiana. Restauração de Pavimento Asfáltico com Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ): Estudo de Caso. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Ceará, edição 242, v. 12, p. 01-19, 02 jan. 2024. DOI ISSN 2236-6717. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.35265/2236-6717-242-12900>. Acesso em: 13 jan. 2024.

GOMES, Fernanda Alves Verzeloni; SILVA, Joelma Veríssimo. **Terraplanagem e a Aplicação do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) em Vias Urbanas**. TCC, Publicação ENC. PF001A/07, Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Goianésia, GO, p. 16, 2017. Acesso em: 27 de jan. 2024.

LITAIFF, Rider Maia; SANCHES; Antônio Estanislau; PINHEIRO, Érika Cristina Nogueira Marques; PEDRAÇA, Aline dos Santos. **Recuperação de pavimento flexível - estudo de caso**: recuperação de pavimento da cabeceira da ponte jornalista phelippe daou. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 8, n. 5, p. 38792-38808, 29 abr. 2022. DOI 10.34117/bjdv8n5-395. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/48241>. Acesso em: 17 jan. 2024.

MARQUES, Geraldo Luciano De Oliveira. **Notas de aula da disciplina pavimentação**. Versão: 06.2, p. 210, Juiz de Fora, MG. 2010. Disponível em: <https://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf> Acesso em: 13 de jan. 2024.

MADUREIRA, Leticia Alberto Borges. **Misturas asfálticas**: Conceituação, Materiais e Dosagem. Curso. Escola Nacional de Administração Pública (ENAP). Brasília, fevereiro, 2023. Disponível em: <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/7689>.

NUNES, Geovanna Pereira; ABREU, Sara Sanches. **Estudo de caso**: execução da terraplenagem no bairro Jardim Promissão em Anápolis - GO. TCC, Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, GO, p. 53, 2021.

PEDREIRA, João Gabriel Maia. **Acompanhamento na Execução dos Serviços de Terraplenagem na Cidade de Palmas – Tocantins**: estudo de caso de um empreendimento imobiliário do tipo loteamento residencial urbano. Orientador: Prof. M.Sc Edivaldo dos Santos. 2017. 42 f. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas - TO, 2017. Disponível em: <https://ulbra-to.br/bibliotecadigital/uploads>. Acesso em: 27 jan. 2024.