

MOBA[®]
MOBILE AUTOMATION



AS BUILT

Etapa

COMPACTAÇÃO

**DESAFIO:
COMPACTAÇÃO IDEAL
EM MENOS PASSADAS**



COMPACTAÇÃO

A fase de compactação está diretamente relacionada à qualidade final da camada de solo ou asfalto. Esta etapa tão importante muitas vezes não tem a devida atenção, impactando na durabilidade das rodovias e, até mesmo na economia do país, uma vez que o modal rodoviário é o mais utilizado. Garantir a compactação ideal em todas as etapas de construção faz com que a vida útil da rodovia seja ampliada, os custos de manutenção e restauração sejam minimizados, além de evitar solicitações de garantia por falta de durabilidade. Ao executar a quantidade necessária de passadas, nem mais, nem menos, aumenta-se a eficiência operacional do processo, reduz-se o retrabalho devido aos efeitos do excesso ou falta de compactação, garantindo também maior homogeneidade.

O programa AS BUILT - Etapa: Compactação tem como objetivo a comprovação do aumento de eficiência e otimização da etapa de compactação, utilizando os assistentes de compactação MOBA em comparação com a operação convencional no BRASIL, que em grande parte das obras ocorre sem qualquer recurso tecnológico e baseando-se apenas na experiência dos profissionais de campo.



COMPACTAÇÃO NO BRASIL

O Brasil é conservador e tradicionalista quando o assunto é construção pesada. As obras ao redor do país estão habituadas a processos tradicionais e muitas vezes pouco produtivos. O órgão fiscalizador é normalmente encarado como vilão e como delator do prestador de serviços, uma vez que defende o interesse do contratante e seu papel é garantir o cumprimento do acordado em contrato. O prestador de serviço por sua vez, muitas vezes se esforça para realizar o trabalho da melhor forma, entretanto algumas variáveis de processo são difíceis de serem controladas. Essa realidade não é diferente em países mais desenvolvidos, a única diferença é que eles melhoraram seus métodos construtivos e consequentemente sua eficiência operacional.

“ Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes. ”
Albert Einstein

ETAPAS DO PROCESSO DE COMPACTAÇÃO ADOTADOS NO PROGRAMA

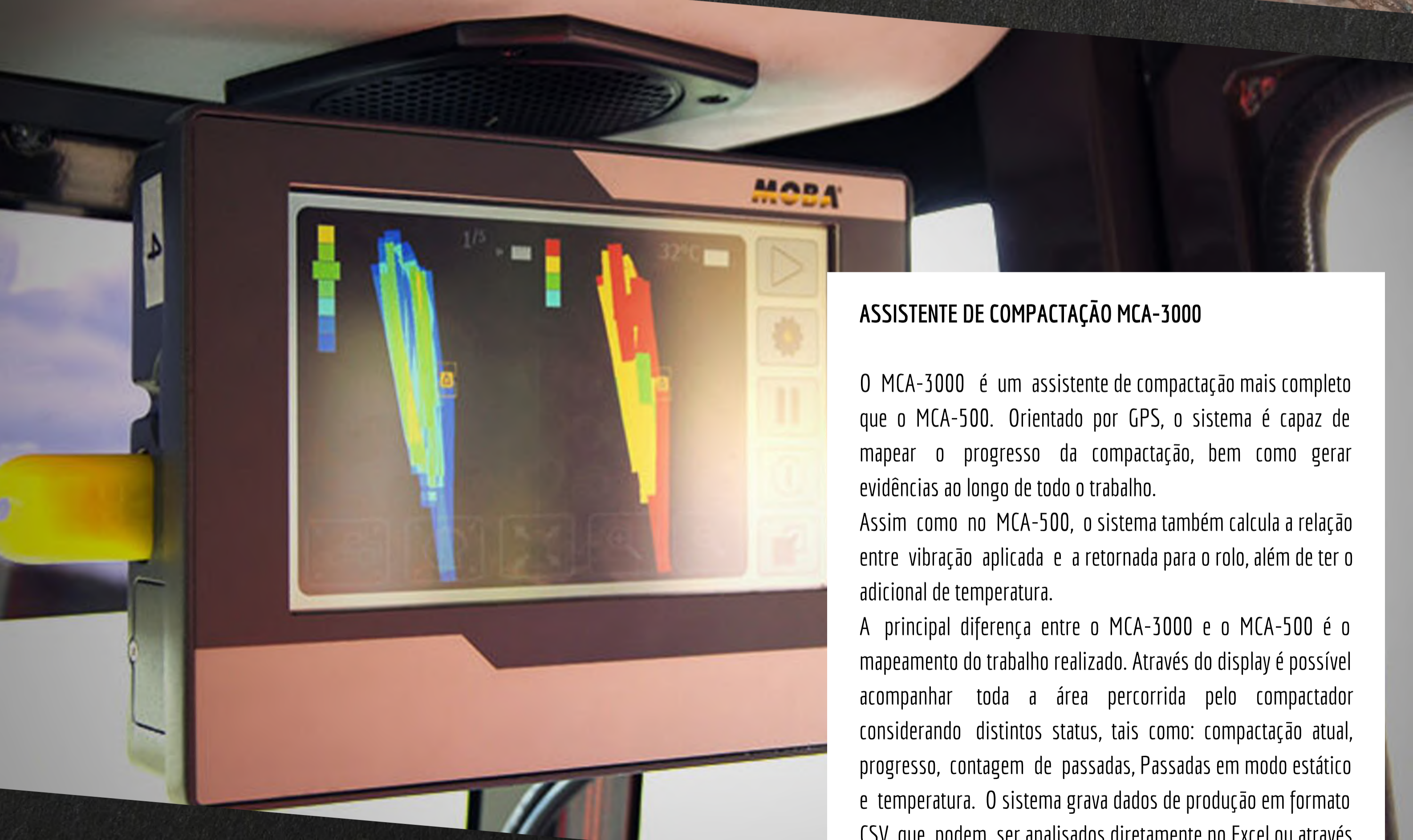


ASSISTENTE DE COMPACTAÇÃO MCA-500

O MCA-500 é uma ferramenta simples e intuitiva para controle de compactação em rolos de asfalto e solo. O sistema, de forma simplificada, calcula a relação entre vibração aplicada e a retornada para o rolo, com isso consegue informar o momento onde a superfície não absorve mais a energia de vibração, significando que a superfície já atingiu o seu índice máximo de compactação, não sendo necessárias novas passadas.

O sistema pode ainda ter um adicional para medição de temperatura, essencial para compactação de asfalto. Através do sensor o operador pode identificar temperaturas abaixo dos valores de referência e pode alertar sobre a ineficiência da compactação nestes casos.

Neste estudo o sensor de temperatura não foi utilizado, pois os sistemas foram testados na compactação de solo, onde não é necessário fazer o controle de temperatura.



ASSISTENTE DE COMPACTAÇÃO MCA-3000

O MCA-3000 é um assistente de compactação mais completo que o MCA-500. Orientado por GPS, o sistema é capaz de mapear o progresso da compactação, bem como gerar evidências ao longo de todo o trabalho.

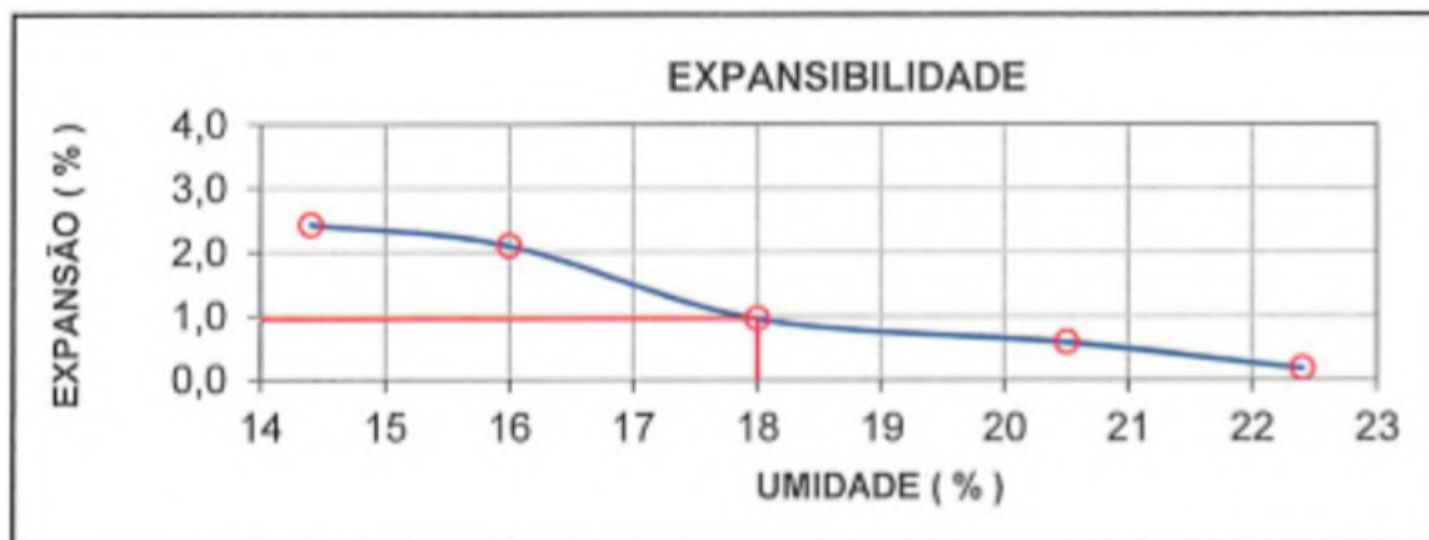
Assim como no MCA-500, o sistema também calcula a relação entre vibração aplicada e a retornada para o rolo, além de ter o adicional de temperatura.

A principal diferença entre o MCA-3000 e o MCA-500 é o mapeamento do trabalho realizado. Através do display é possível acompanhar toda a área percorrida pelo compactador considerando distintos status, tais como: compactação atual, progresso, contagem de passadas, Passadas em modo estático e temperatura. O sistema grava dados de produção em formato CSV, que podem ser analisados diretamente no Excel ou através da ferramenta própria MOBA CEVAL.

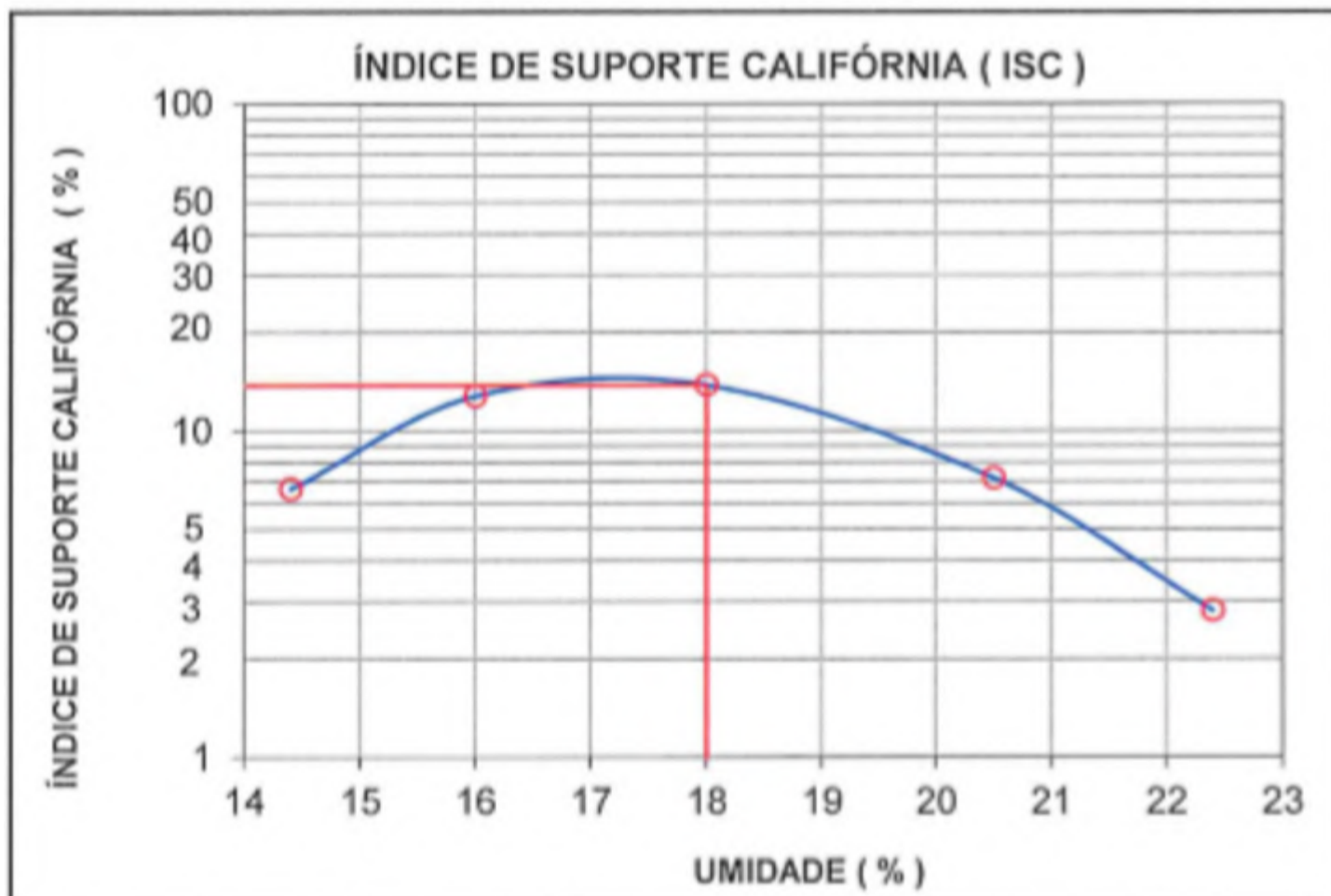
ENSAIOS EM LABORATÓRIO

AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS PREVIAMENTE

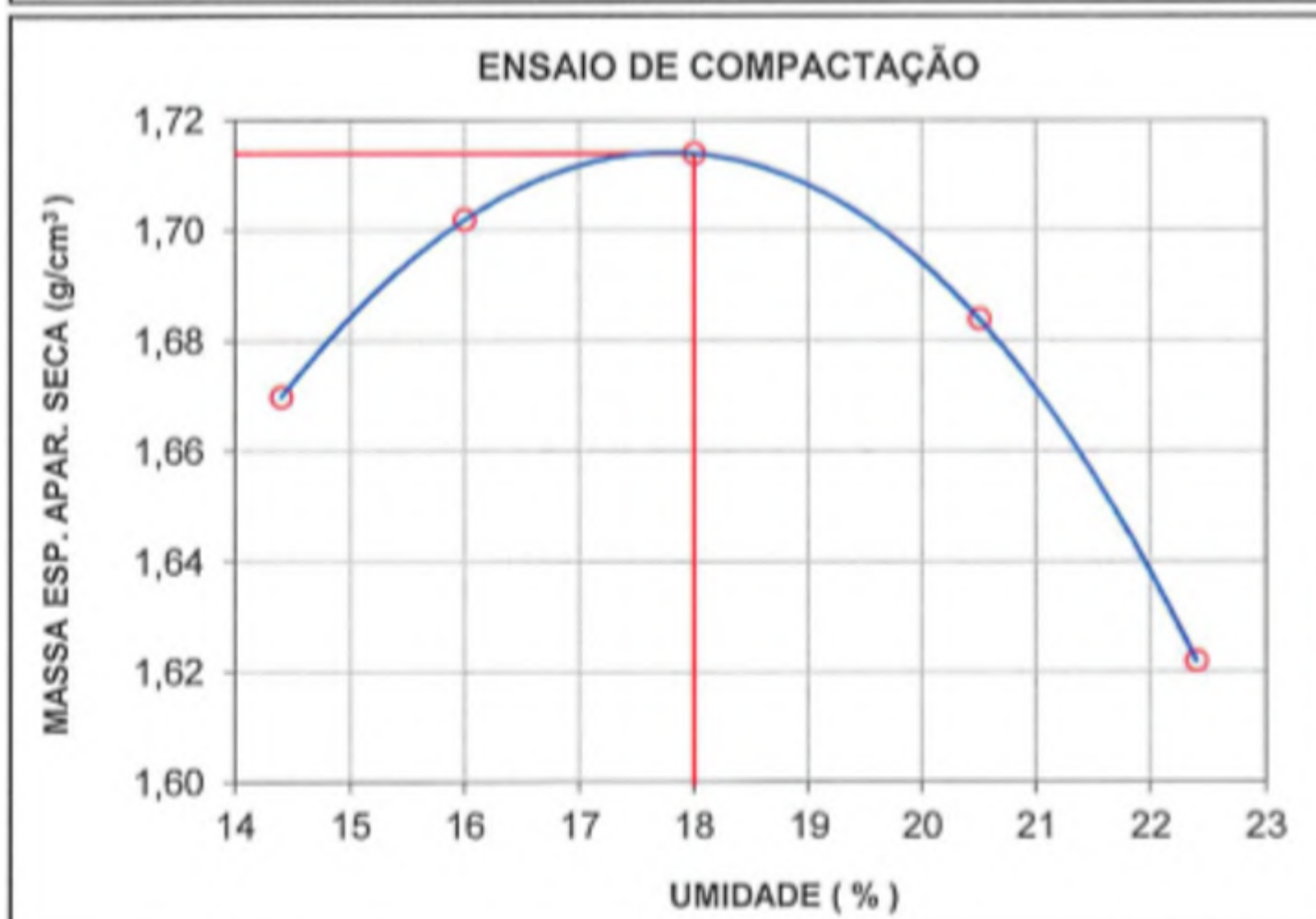
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA: COMPACTAÇÃO (ABNT NBR 7182:2016) / ISC (ABNT NBR 9895:2016)



EXPANSIBILIDADE		
PONTO	UMIDADE (%)	EXPANSÃO (%)
1	14,4	2,43
2	16,0	2,10
3	18,0	0,96
4	20,5	0,59
5	22,4	0,18



ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - ISC		
PONTO	UMIDADE (%)	ISC (%)
1	14,4	6,7
2	16,0	12,8
3	18,0	13,8
4	20,5	7,2
5	22,4	2,8



ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
ENERGIA DE COMPACTAÇÃO : NORMAL		
PONTO	UMIDADE (%)	M.E.A.S. (g/cm³)
1	14,4	1,670
2	16,0	1,702
3	18,0	1,714
4	20,5	1,684
5	22,4	1,622

RESULTADOS FINAIS		
M.E.A.S.MAX.	=	1,714 g/cm³
UMID. OT. (H _{OT})	=	18,0 %
ISC _{HOT}	=	13,8 %
EXPANSÃO _{HOT}	=	0,96 %

Fonte: Relatório de ensaios - Concre-test

OPERAÇÃO CONVENCIONAL

SEM ASSISTENTE DE COMPACTAÇÃO

Preparação

- ✓ Laboratório - Análise de Umidade
- ✓ Controle de Umidade - 18%
- ✓ Homogeneização do Material

Compactação

- ⚙ Compactação nos dois sentidos (para frente e em marcha ré)
- ⚙ Alta amplitude e baixa frequência
- ⚙ Velocidade média de 4Km/h

Pista de Prova

- 📏 Extensão de 100m
- 📏 Largura de 2,1m

Ensaio de Laboratório*

Grau de Compactação (%)

Ponto 1 - 10m do início	98,1
Ponto 2 - 50m do início	97,4
Ponto 3 - 10m do fim	96,7

*Após a compactação | Método cilindro de cravação

16

Passadas em modo vibratório

Metodologia

O operador foi instruído a executar a compactação conforme definição da obra para máxima compactação. Nesta pista de prova foram executadas **16 passadas**.

Após as **16 passadas**, o laboratório fez ensaios de compactação em campo.

Análise de Resultados

Mesmo após as **16 passadas** o solo ainda **não** apresentava nível de compactação de 100%. Este fato pode ser explicado por diversas hipóteses, dentre elas:

- 🔍 Devido às condições climáticas do ambiente operacional, é possível que o material tenha perdido a umidade antes que o processo de compactação se iniciasse.
- 🔍 **16 passadas** podem ter sido excessivas, fazendo com que a compactação atingisse o ponto máximo e a partir daí destruísse a compactação.
- 🔍 Variações na composição do material pode caracterizar que a amostra analisada em laboratório é diferente e, portanto, teor de umidade ótimos diferentes.

MCA-500

COMPACTAÇÃO NA MEDIDA CERTA



Preparação

- ✓ Laboratório - Análise de Umidade
- ✓ Controle de Umidade - 18%
- ✓ Homogeneização do Material

Compactação

- ⚙️ Compactação nos dois sentidos (para frente e em marcha ré)
- ⚙️ Alta amplitude e baixa frequência
- ⚙️ Velocidade média de 4Km/h

Pista de Prova

- 📏 Extensão de 100m
- 📏 Largura de 2,1m

Ensaio de Laboratório*

Grau de Compactação (%)

Ponto 1 - 10m do início	100,2
Ponto 2 - 10m do fim	100,6

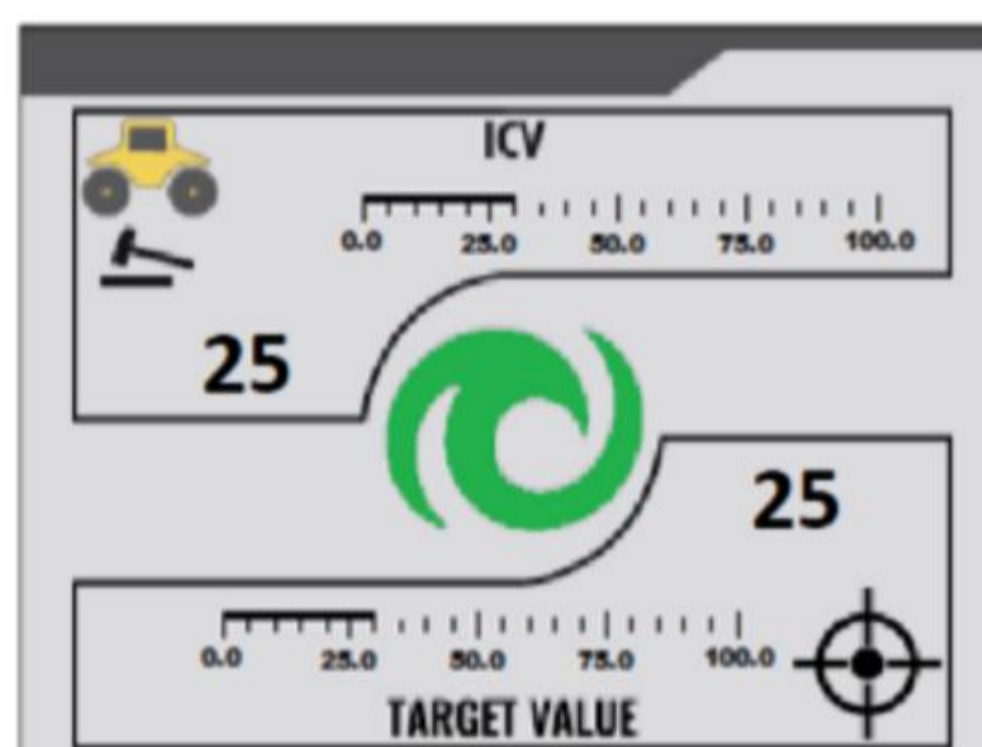
*Após a compactação | Método cilindro de cravação



8 Passadas em modo vibratório

Metodologia

O operador foi instruído a executar a compactação até que o ícone central do MCA-500 fosse colorido em verde em maior parte da pista. Várias pistas de provas foram executadas com o auxílio do MCA-500, considerando mesmo material.



Fonte: Tela extraída do display embarcado do assistente de compactação MCA-500

Análise de Resultados

Com apenas **8 passadas** o solo atingiu a sua capacidade máxima de compactação, economizando 8 passadas em vibratório.

MCA-3000

PROGRESSO DA COMPACTAÇÃO EM TEMPO REAL



Preparação

- ✓ Laboratório - Análise de Umidade
- ✓ Controle de Umidade - 18%
- ✓ Homogeneização do Material

Compactação

- ⚙️ Compactação nos dois sentidos (para frente e em marcha ré)
- ⚙️ Alta amplitude e baixa frequência
- ⚙️ Velocidade média de 4Km/h

Pista de Prova

- 📏 Extensão de 100m
- 📏 Largura de 2,1m

Ensaio de Laboratório*

Grau de Compactação (%)

Ponto 1 - 10m do início	98,7
Ponto 2 - 10m do fim	99,9

*Após a compactação | Método cilindro de cravação

8 Passadas em modo vibratório

Metodologia

O operador foi instruído a executar a compactação até que o progresso de compactação exibido através do mapa no MCA-3000 estivesse em verde. Várias pistas de provas foram executadas com o auxílio do MCA-3000, considerando mesmo material.



Foto: MOBA

Análise de Resultados

Com apenas **8 passadas** o solo atingiu a sua capacidade máxima de compactação, economizando 8 passadas em vibratório.

MCA-3000

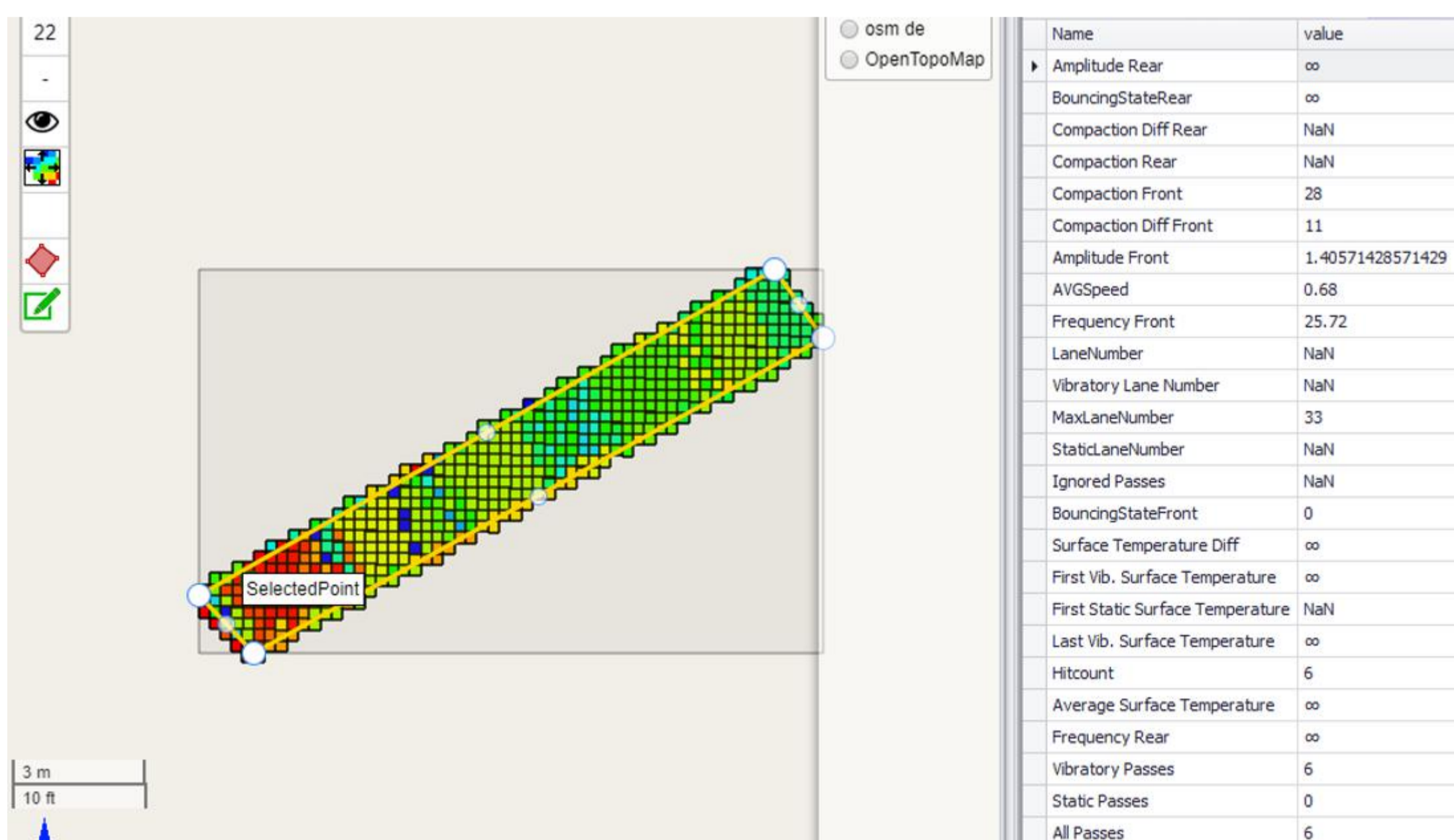
PROGRESSO DA COMPACTAÇÃO EM TEMPO REAL



Evidências da Compactação

Espera-se que todo o processo de compactação tenha resultados uniformes, entretanto na prática essa condição ideal não ocorre. Como normalmente na obra não estão disponíveis ferramentas que permitam uma análise de toda a superfície, apenas os ensaios amostrais de compactação em campo são realizados. Se a fiscalização escolher pontos de forma aleatória para análise, e se estes pontos apresentarem problemas na compactação, a obra pode ser penalizada por uma compactação deficiente apontada nos ensaios laboratoriais, ainda que esta condição amostral não represente a superfície como um todo. Durante a operação com o MCA-3000 o operador tem uma visão de todo o processo de compactação. É como se ele tivesse uma máquina de “raio x” ao vivo, podendo acompanhar em tempo real a condição de compactação realizada, podendo se guiar pelo display do MCA-3000 até os pontos em azul (subcompactação), ou seja, que necessitem mais compactação, além de evitar os em verde (já compactado) e vermelho (sobrecompactação).

A seguir um trecho do progresso final da pista é apresentado. Os dados foram analisados com o auxílio do software CEVAL. O gráfico representa a comparação entre os índices de compactação inteligente da penúltima e da última passada da compactação, sendo: verde - pontos onde não houve variação no índice de compactação; vermelho - pontos onde houve perda de compactação; azul - pontos onde houve aumento da compactação.



Fonte: Tela extraída do software de análise de dados de produção CEVAL



As obras de duplicação da BR-163 consideram entre Cascavel-Marmelândia um total de 74Km. Fazendo algumas considerações no dimensionamento das pistas e considerando mesmo rolo utilizado no teste, tem-se:

Comprimento da pista	74 Km
Largura da pista	4,00m
Largura do rolo	2,10m
Espessura da camada	0,20m
Velocidade média	4 Km/h

De acordo com a tabela custo horário (09/2019) da SOBRATEMA, o custo operacional total de um rolo compactador de um cilindro, liso ou pé-de-carneiro, de 7 a 10 ton é de aproximadamente **R\$ 184,76**.

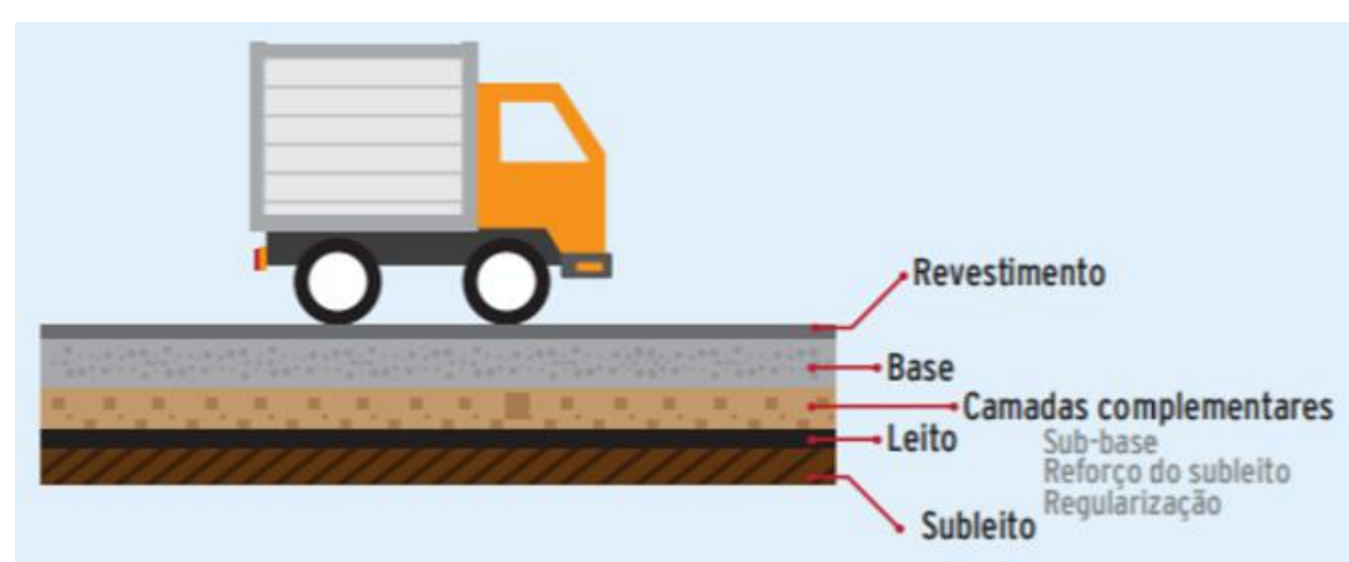
Considerando que a obra executaria em média 16 passadas e que seriam necessárias a execução de 2 faixas, considerando 20cm de sobreposição (Largura da pista / Largura do rolo) para cobrir toda a largura da pista. Tempo total necessário para cobrir toda a largura da pista passada e considerando 16 passadas de compactação:

$$\frac{74 \text{ Km}}{4 \text{ Km/h}} \times 2 \times 16 = 592 \text{ h}$$

Sendo o custo total:

$$592\text{h} \times \text{R}\$ 184,76 = \text{R}\$ 109.377,92$$

Considerando que a composição da pista é conforme a imagem a seguir:



Fonte: Estudo CNT - Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram

O rolo compactador será aplicado por toda a extensão da pista nas 5 etapas para compactação de todas as camadas.

O custo total para execução das **16 passadas** em toda a extensão e em todas as camadas é:

$$\text{R}\$ 109.377,92 \times 5 = \text{R}\$ 546.889,60$$

A utilização do **MCA-500** ou **MCA-3000** proporcionaria neste caso 50% de economia no custo de operação através da redução da quantidade de passadas.

Economia total de custo operacional para execução da compactação:









$$\text{R}\$ 546.889,60 \times 50\% = \text{R}\$ 273.444,80$$

16 passadas → 8 passadas



BENEFÍCIOS EXCLUSIVOS DO MCA-3000

Além da economia de 50% em função da redução das passadas, o assistente de compactação MCA-3000 proporcionaria para a obra:

-  Controle em todas as etapas da compactação de asfalto, inclusive em rolos de pneus.
-  Conhecer o progresso da compactação em aplicações com solos com características geotécnicas distintas (jazidas distintas) e compactar mais ou menos nas regiões que acusarem deficiência.
-  Garantir homogeneidade da compactação mesmo em condições com materiais e equipamentos distintos.
-  Reduzir a quantidade de passadas, evitando a perda do grau de compactação, por destruição (sobrecompactação) da camada que acaba de ser compactada. Além de reduzir desgaste prematuro de partes mecânicas e da estrutura do equipamento.
-  Atuar na subcompactação, compactando somente trechos que ainda absorvam a energia de vibração e, em caso de pavimentação reduzir os descontos na medição por índices de vazios.
-  Evidência da compactação realizada.
-  Identificar facilmente materiais com deficiências para absorção da compactação e não compactar. Ex. ao iniciar a compactação nota-se uma temperatura de asfalto abaixo a ideal. Ex. ao realizar uma fecha, nota-se que não houve progresso na compactação. Ainda que não tenha atingido o valor máximo, a superfície não está absorvendo. Poderia ser um indicativo de falta de umidade.
-  Comprovar para o contratante, através de evidências, a qualidade da compactação, evitando ou provendo o contratado de argumentos para rebater questionamentos de garantia.

AS BUILT

Etapa

COMPACTAÇÃO



www.mobadobrasil.com.br
mobadobrasil@moba.de
(31) 3418-9078

mobadobrasil@moba.de
(31) 3418-9078

Agradecimentos:

Equipe Alex André Terraplenagem

Alexandre Checchinato	Diretor
André Checchinato	Diretor
Daniel João da Silva	Operador Rolo Compactador e Recicladora
Dener Souza Moreira	Engenheiro Civil
Erinaldo Viera Almeida	Operador Motoniveladora
Leonardo Galbiati	Engenheiro Civil
Moisés Goulart dos Santos	Motorista Caminhão Pipa

Equipe MOBA Brasil

Flávia Lustosa	Consultora Técnico & Comercial
Jeder José Cunha	Consultor Técnico & Comercial
Patrícia Herrera	Gerente Geral

Equipe MOBA Alemanha

Agata Ligier	Suporte Remoto
Bernhard Marx	Gerente de Produto

Equipe MOBA Índia

Samip Desai	Gerente Geral
Zeeshan Saiyed	Engenheiro

Equipe Concre-test

José Henrique de Oliveira	Diretor
Gilberto Pereira de Oliveira	Técnico de Laboratório