



16ª RPU – Reunião de Pavimentação Urbana

Belo Horizonte/MG - BRASIL - 28 a 30 de abril de 2009
Centro de Convenções Minascentro

PAVIMENTO DE CONCRETO NO BINÁRIO DA AVENIDA SANTA BERNADETTE EM CURITIBA

Carlos Roberto Giublin¹; Alexsander Maschio² & José Carlos Moro Neto³

RESUMO

Com o objetivo de se obter uma maior durabilidade do pavimento, foi adotada para o binário da Avenida Santa Bernadethe em Curitiba, trecho que liga os bairros Portão e Novo Mundo à Linha Verde (antiga BR 476), a tecnologia de pavimentação em concreto de cimento Portland. Com este binário (via de mão dupla) com extensão total de 2,047 quilômetros, o objetivo é aumentar a capacidade da rede de transporte, integrar bairros separados pela antiga BR e melhorar o acesso e a eficiência do sistema de transporte de Curitiba, diminuindo o tempo de viagem. O pavimento de concreto foi adotado como solução após análise das características do terreno e em função de sua maior durabilidade. Os objetivos deste trabalho são apresentar os procedimentos executivos da obra, as características dos materiais e concreto, demonstrar a utilização de pavimentadoras de formas deslizantes em ambientes urbanos, bem como apresentar os resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento de Concreto; Pavimentadora de Forma Deslizante; Concreto.

ABSTRACT

In order to obtain greater durability of the pavement, was adopted for the binary of Avenue Santa Bernadethe in Curitiba, stretch that connects the neighborhoods Portão and Novo Mundo Green Line (former BR 476), the technology of concrete paving of Portland cement. With this binary (two-way street) with total length of 2,047 kilometers, the objective is to increase the capacity of the public transport system, integrating neighborhoods separated by the former BR and improve access and efficiency of the transport system of Curitiba reducing the time travel. The concrete pavement was adopted as a solution after examining the characteristics of the land, and due to its greater durability. The objectives of this work is to present the procedures, the characteristics of materials and concrete, demonstrate the use of slipform paver into urban environments, and present the results obtained.

KEY WORDS: Concrete Pavement; Slipform Paver; Concrete

¹ Associação Brasileira de Cimento Portland, Rua da Glória, 175 – 3º andar – Centro Cívico, 80030-060 – Curitiba/PR, Fone/Fax: 41 3353-7426, Roberto.Giublin@abcp.org.br

² Associação Brasileira de Cimento Portland, Rua da Glória, 175 – 3º andar – Centro Cívico, 80030-060 – Curitiba/PR, Fone/Fax: 41 3353-7426, Alexsander.Maschio@abcp.org.br

³ J. Malucelli Construtora de Obras AS, Rodovia do Café, 315 km 0,5 – Mossunguê, 82305-100 – Curitiba/PR, Fone/Fax: 41 3351-5577, josecmn@jmalucelli.com.br



Histórico

A avenida Santa Bernadethe, localizada entre os bairros Portão e Novo Mundo em Curitiba, é uma via de pista dupla, apresentando passeios laterais com largura de 2,50m e pistas de rolamento com 6,00m em cada via, separadas, em grande parte da extensão, por um canal a céu aberto (figura 1). O projeto de revitalização das vias com 2,047km previu que cada via seja alargada para comportar uma pista de 9,00m, com duas faixas de tráfego de 3,50m e área de estacionamento de 2,00m. O trecho que foi executado fica compreendido entre a Rua Eduardo Carlos Pereira e a Rua Maestro Francisco Antonello (figura 2). No entroncamento da Rua Santa Bernadethe com a Av. Presidente Wenceslau Braz foi executada uma interseção do tipo rotatória, permitindo que no seu interior passe uma pista exclusiva para ônibus.

A avenida Santa Bernadethe faz parte do complexo de obras que compreendeu a implantação de um novo shopping Center na região do bairro Portão, bem como a interligação com a Linha Verde, obra que está revitalizando a antiga BR476.

O estudo do projeto de revitalização da avenida contemplou a solução em pavimento de concreto, composta por uma placa de concreto simples com barras de transferência, assentada sobre uma sub-base de concreto compactado com rolo (CCR), sobre um reforço de material granular. Este pavimento, além da resistência ao tráfego pesado, tem vida útil de 20 anos ou mais, a sua superfície não se deforma com o tráfego, tem maior visibilidade se comparado ao pavimento asfáltico, oferece melhor aderência entre pneus e superfície de rolamento (SENÇO, 1997). Este tipo de pavimento resiste também ao ataque químico dos óleos que vazam dos veículos.



Figura 1. Avenida Santa Bernadethe antes da revitalização.



Figura 2. Mapa de localização da Avenida.



PROJETO DE REVITALIZAÇÃO DA AVENIDA

Drenagem

Com o plano de revitalização da Avenida Santa Bernadethe, foi necessário definir uma solução para o canal existente localizado no canteiro central. A solução adotada foi o aproveitamento do canal pré-moldado existente e colocação de muros (tipo gravidade) construídos na parte externa dos bordos do canal. Para a estabilização dos muros no aspecto escorregamento, a solução adotada foi a execução de tirantes ancorados em bloco morto, executados no interior do maciço. A figura 3 mostra o corte esquemático da solução adotada e projetada para o alargamento das pistas da Avenida Santa Bernadethe.

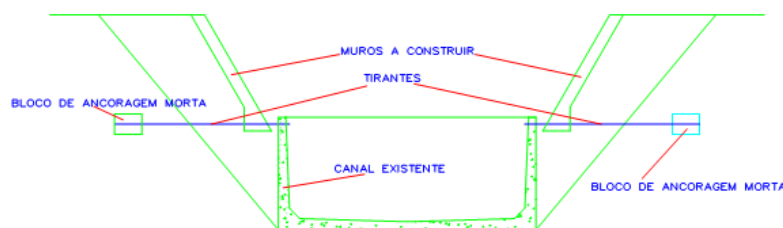


Figura 3. Corte esquemático da solução adotada para o canal.

Pavimento de Concreto

O método utilizado para o dimensionamento do pavimento de concreto foi o da PCA – 84 (Portland Cement Association). Este método parte de quatro parâmetros básicos, a saber: a) Estudos teóricos clássicos sobre o comportamento de placas de concreto desenvolvidos por Westergaard e Pickett. b) Ensaios de laboratório e de modelos sobre o comportamento de juntas, sub-bases e acostamentos e sua influência no desempenho do pavimento. c) Pistas experimentais da AASHTO e estudos específicos levados a efeito por diversos órgãos rodoviários e aeroportuários. d) Observação metódica de pavimentos em serviço. Para o dimensionamento, o método requer informações sobre a capacidade de suporte do subleito, tráfego estimado, resistência do concreto (definição do projetista) e período de projeto.

A estrutura resultante do dimensionamento do pavimento de concreto foi a seguinte:

- . Placa de concreto simples = 22cm.
- . Sub-base de concreto compactado com rolo (CCR) = 10cm.
- . Reforço do subleito com brita graduada simples (BGS) = 25cm.

A resistência do concreto das placas foi fixada em 4,5MPa na tração a flexão aos 28 dias e o período de projeto definido em 20 anos. A resistência a tração aos 28 dias do Concreto Compactado com Rolo (CCR), utilizado como sub-base, foi de 1,5MPa.

As dimensões definidas em projeto para as placas de concreto foram de 5,0m de comprimento e largura de 3,5m. Nas placas em que as medidas não atenderam ao padrão de 5,0m x 3,5m, bem como nos cruzamentos, foi definido em projeto o uso de fibras de polipropileno multi-filamento, na proporção de 0,60kg/m³ de concreto.

O pavimento resultou na seção-tipo mostrada na figura 4.

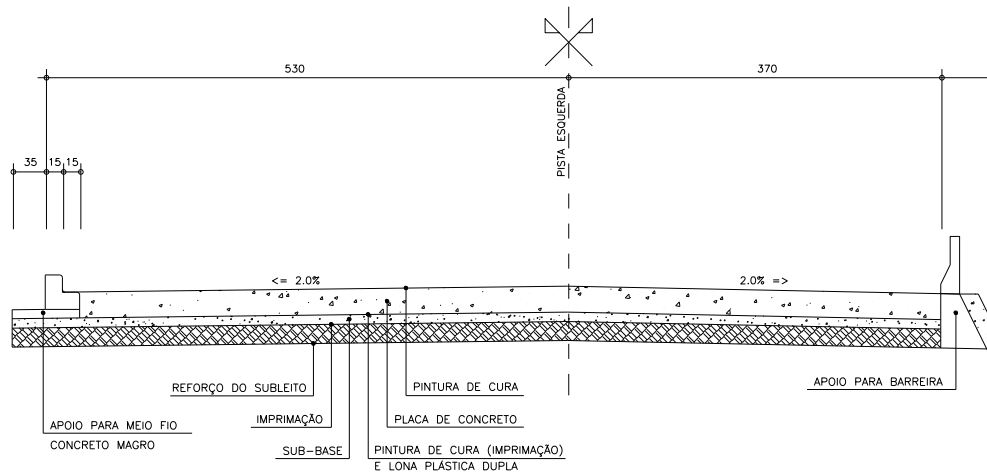


Figura 4. Seção tipo do pavimento de concreto.

Nas juntas longitudinais de construção foram projetadas barras de ligação com aço CA-50, diâmetro de 8mm, com comprimento de 62cm, espaçadas a cada 50cm (figura 5).



Figura 5 - Detalhe das juntas longitudinais de construção.

Nas juntas transversais de retração, foram projetadas barras de transferência com aço CA-25, diâmetro de 25mm, com comprimento de 46cm, espaçadas a cada 30cm (Figura 6).

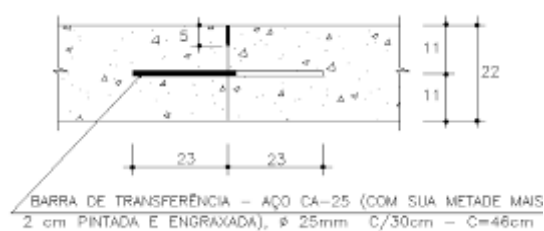


Figura 6. Detalhe da junta transversal de retração.

Calçadas

O projeto das calçadas contemplou a utilização de pavimento intertravado com blocos de concreto de 6cm nos acessos de pedestres e 8cm nos acessos de veículos, com 1,50m de largura e delimitadas em ambos os lados por uma cinta de concreto com seção de 8cm x 8cm. As calçadas implantadas junto às pistas, que não possuem estacionamento, têm uma faixa de grama de 0,50m entre estas e o meio-fio. Nas pistas que possuem estacionamento, a calçada ficou junto ao meio-fio. Também



foram projetadas guias rebaixadas nos acessos às garagens e rampas de acesso para as pessoas com dificuldade de locomoção.

CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DOS CONCRETOS

Nesta seção serão detalhadas as principais características dos materiais utilizados na obra para confecção dos concretos aplicados na pavimentação.

Cimento

O cimento definido para a obra foi o CP II Z-32, com BLAINE menor ou igual a 3.800 cm²/g. A empresa que forneceu o cimento foi a Votorantim (Unidade Rio Branco/PR). A Tabela 1 mostra o ensaio de caracterização fornecido pelo fabricante, referente a setembro/2006.

Tabela 1 – Características físicas e químicas do cimento CP II Z - 32

Características Químicas									
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	CO ₂	Perda ao Fogo	Resíd. Insolúvel
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
6,94	22,88	3,11	53,79	5,74	2,78	1,02	4,44	5,06	11,76

Características Físicas										
Exp. Quente	Tempo de Pega		Cons.	Blaine	#200	#325	Resistência à Compressão			
	Início	Fim	Normal				1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
mm	h : min	h : min	%	cm ² /g	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa
0,05	4:02	5:10	28,17	3.605	1,77	11,30	-	23,84	28,09	36,15

Agregados

Agregados Miúdos

Foram utilizados 02 (dois) tipos de agregados miúdos. A areia natural, tendo como características referenciais o módulo de finura de 1,76 e o diâmetro máximo de 1,18mm, e a areia artificial, com módulo de finura de 3,01 e diâmetro máximo de 4,75mm. A figura 7 mostra as curvas granulométricas médias da areia natural e areia artificial.

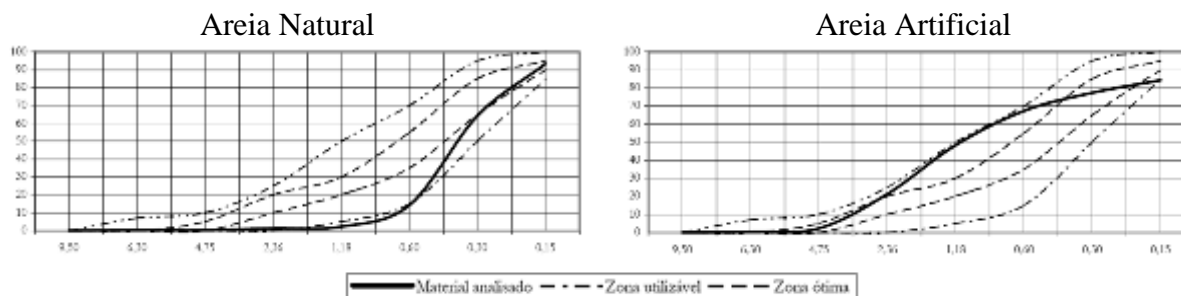


Figura 7. Curvas granulométricas da areia natural e areia artificial.



Agregados Graúdos

Foram utilizados 02 (dois) tipos de agregados graúdos, a brita classificada como 19/31,5mm (NBR 7211/2005), tendo como características referenciais o módulo de finura de 7,83 e o diâmetro máximo de 32mm, e a classificada como 9,5/25mm (NBR 7211/2005), com módulo de finura de 7,09 e diâmetro máximo de 25mm. A figura 8 mostra as curvas granulométricas da brita 19/31,5 e brita 9,5/25.

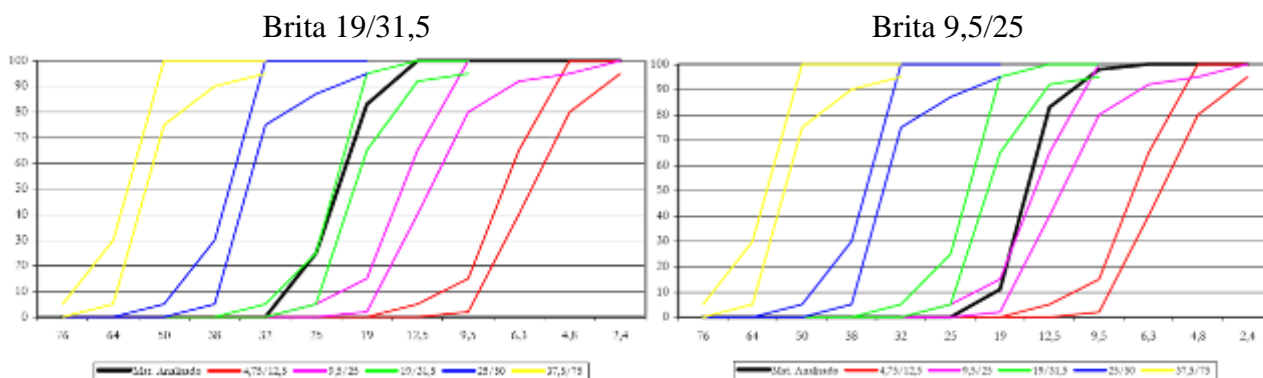


Figura 8. Curva Granulométrica / Brita 19/31,5mm e Brita 9,5/25mm.

Aditivo

Nos traços dos concretos aplicados na obra foi utilizado o produto MIRA RT 77 (“GRACE CONSTRUCTION”), que é um aditivo polifuncional, com densidade aparente de 1,20g/cm³.

TRAÇOS DOS DIVERSOS TIPOS DE CONCRETO UTILIZADOS NA OBRA

Para a determinação dos traços de concreto utilizou-se o método de dosagem experimental desenvolvido pelo Laboratório DAHER Tecnologia, responsável pelo controle tecnológico do concreto da obra. Este método é baseado na composição dos métodos elaborados pelos institutos nacionais e internacionais do concreto (ACI, ABCP, IPT e INT).

Os traços de concreto demonstrados na tabela 2 foram utilizados para os serviços de placa de concreto (traço 1) e concreto compactado com rolo – CCR (traço 2).

Tabela 2 - Traços de Concreto

MATERIAIS	UNIDADE	TRAÇO 1	TRAÇO 2
Cimento CII Z-32	kg/m ³	379	100
Areia Natural	kg/m ³	213	355
Areia Artificial	kg/m ³	519	558
Brita 9,5/25	kg/m ³	566	408
Brita 19/31,5	kg/m ³	585	633
Água	kg/m ³	165	175
Aditivo	kg/m ³	3,03	1,1
Teor de ar incorporado	%	2	8
Abatimento – “Slump”	mm	40±10	0
TRAÇO 1: Concreto estrutural executado pela Pavimentadora “TEREX CMI” – fctMk = 4,5 Mpa			
TRAÇO 2: Concreto Compactado com Rolo (CCR) - fctMj 7 dias = 1,5 Mpa			



EQUIPAMENTOS PARA A EXECUÇÃO DOS CONCRETOS

Para atender as especificações de produção, prazo e qualidade do pavimento, o edital de licitação previu a utilização de pavimentadora de formas deslizantes para o espalhamento do concreto das placas. Junto a esta definição, uso de pavimentadora, foi previsto o fornecimento de concreto em central de concreto dosadora e misturadora, em função das seguintes características: o concreto teria que ter valor de abatimento de tronco de cone (“*slump*”) abaixo de 5cm e ser transportado em caminhões basculantes. Foram utilizadas régua vibratórias treliçadas (equipamento de pequeno porte) para a execução das placas irregulares, bem como nos locais onde o uso das pavimentadoras foi inviável.

Central de Concreto

O concreto foi fornecido por empresa concreteira da cidade de Curitiba, situada a 8,0km da obra. Foi utilizada uma central de concreto dosadora e misturadora Arcen ARCMOV 80, tanto para o concreto das placas quanto para o concreto compactado com rolo – CCR, mostrado na figura 9.



Figura 9. Central dosadora misturadora marca Arcen modelo ARCMOV 80.

Pavimentadora

O espalhamento do concreto foi realizado com a pavimentadora de formas deslizantes da marca TEREX CMI, modelo SF-3004, conforme mostra a figura 10. Impulsionado por diversas obras em todos os estados do país, o uso desse equipamento torna-se cada vez mais comum em obras de pavimentação de concreto. É um equipamento de concepção complexa, elevada capacidade de produção, e que reúne em uma só unidade a recepção, a distribuição, a regularização, o adensamento e a terminação superficial do concreto, reduz os tempos de aplicação do concreto, diminui os custos unitários dos serviços e executa pavimentos de alta qualidade (PITTA, 1998).



Figura 10. Pavimentadora de forma deslizantes - marca TEREX CMI.



Equipamento de Pequeno Porte

Nas placas irregulares e em locais de difícil acesso à pavimentadora de formas deslizantes foi utilizado equipamento de pequeno porte do tipo régua treliçada vibratória. Para a realização de pavimentos com equipamento de pequeno porte é necessário mobilizar os seguintes itens: formas metálicas de contenção lateral do concreto, vibradores de imersão, régua treliçada vibratória e régua acabadora de madeira ou aço.

Equipamentos de Transporte

Para o transporte do CCR e do concreto das placas espalhadas com a pavimentadora de formas deslizantes, desde a central de concreto até o local de aplicação, foram utilizados caminhões basculantes. Já para o concreto das placas irregulares, espalhadas com régua vibratória, foram utilizados caminhões autobetoneiras.

MÉTODO EXECUTIVO

Um dos objetivos deste trabalho é demonstrar os procedimentos executivos de pavimentos de concreto com a utilização de pavimentadoras de formas deslizantes na pavimentação de vias urbanas. A descrição a seguir detalha todas as atividades inerentes à execução dos serviços de pavimentação de concreto da Avenida Santa Bernadethe. Os serviços preliminares, tais como, execução do subleito e infra-estrutura de drenagem, bem como os serviços complementares de calçadas, ciclovia e paisagismo, não terão os métodos executivos detalhados neste trabalho. A obra ficou a cargo da construtora J.Malucelli Construtora de Obras S.A.

Produção do Concreto

Conforme descrito anteriormente, uma central de concreto foi utilizada para atender as necessidades da obra. A central tinha capacidade de produção de 80 m³/h, e foi suficiente para manter as frentes de serviço trabalhando dentro do planejamento da obra. Atendeu a produção de CCR, do concreto para a pavimentadora de formas deslizante e para a régua treliçada vibratória.

Execução do Pavimento de Concreto

A pavimentadora TEREX CMI – SF 3004 trabalhou com as seguintes larguras: 8,70m, 8,00m e 7,00m. Na largura de 8,70m, a pavimentadora trabalhou com duplo caimento, sendo o eixo da pista diferente do eixo da pavimentadora, conforme figura 11. Trechos com placas irregulares e outras larguras foram executados com as régua treliçadas vibratórias.



Figura 11. Duplo caimento da pista – largura de 8,70m



Como a descarga do concreto na frente da pavimentadora foi realizada diretamente do caminhão basculante, lançou-se mão de uma escavadeira hidráulica para a correta distribuição do material, sendo este um procedimento normal neste tipo de pavimento (figura 12).



Figura 12. Distribuição do concreto com o auxílio de escavadeira

Diferentemente de rodovias, nas obras de pavimentação de concreto em vias urbanas encontraram-se vários obstáculos que impedem a utilização de pavimentadoras de formas deslizantes, já que estes equipamentos têm dimensões grandes, necessitam de uma largura adicional aproximada de 1,5m para cada lado e peso acima de 40 toneladas. No caso da avenida Santa Bernadethe, os estudos preliminares do projeto mostravam a possibilidade de uma grande utilização destes equipamentos de grande porte. Para tal, a construtora se valeu de um planejamento detalhado das atividades para com isso obter um bom aproveitamento da produtividade dos equipamentos. A construtora conseguiu utilizar a pavimentadora de formas deslizantes em 80% das placas de concreto, sendo os 20% restantes executados com as régua treliçadas vibratórias.

A figura 13 mostra o detalhe da fixação na sub-base de CCR do sistema de apoio das barras de transferência na frente da pavimentadora. Este sistema de apoio foi projetado de tal modo a não permitir a movimentação das barras durante todas as etapas construtivas.



Figura 13. Sistema de apoio das barras de transferência.

As juntas transversais de construção foram executadas com o uso de formas metálicas, com orifícios pré-definidos para a colocação das barras de transferência. A correta execução destas juntas evita o aparecimento de “bumps”, que são ondulações perceptíveis e indesejáveis ao tráfego (figura 14).



Figura 14. Junta transversal de construção.

A texturização da superfície do concreto foi realizada com a utilização de vassoura de piaçava, sendo estas passadas no sentido transversal, deixando pequenos sulcos ondulados na superfície da via (figura 15).



Figura 15. Texturização

Para a cura do concreto, foi aspergido sobre a toda a superfície do concreto e nos dois bordos laterais um produto de cura química, na taxa de 400g/m^2 , aplicado com auxílio de bomba costal manual. Esta atividade se deu logo após a execução da texturização e foram tomados todos os cuidados para evitar a evaporação precoce da água de amassamento, o que fatalmente acarretaria em fissuras de retração plástica do concreto.

Os cortes para indução das juntas transversais foram executados entre 8h e 12h após a concretagem, e isto dependeu das condições de temperatura e umidade do ar no momento do corte. Este primeiro corte teve sua profundidade fixada em projeto em 7cm e espessura de 3mm. O mesmo procedimento foi adotado para o corte das juntas longitudinais nos trechos executados com mais de uma faixa de rolamento ao mesmo tempo. As juntas longitudinais de construção foram serradas apenas após o aparecimento da fissura resultante do trabalho da junta dos dois concretos lançadas em dias diferentes.

CONTROLE TECNOLÓGICO

O controle tecnológico dos serviços de pavimentação em concreto foi realizado conforme as normas da ABNT e ASTM. As especificações de serviço recomendam que devem ser ensaiados corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos. Na obra em questão foram adotados os dois métodos, a fim de serem obtidos resultados de resistência à tração na flexão (especificado pelo projeto do pavimento) e resistência à compressão axial, obtendo-se com isso uma correlação confiável no decorrer do controle. Para tanto foram ensaiados corpos-de-prova cilíndricos nas idades de 7 dias, 14 dias (eventualmente), 28 dias e 60 dias, ocorrendo esta última somente quando os resultados dos corpos-de-prova da idade de 28 dias não atingiam a resistência característica à compressão (f_{ck}) e/ou a resistência característica à tração ($f_{ct,Mk}$) especificada no projeto do pavimento, e corpos-de-prova



prismáticos nas idades de 7 dias e 28 dias. A moldagem e ensaios realizados seguiram as seguintes normas técnicas:

- NBR 5738/2003 - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos.
- NBR 5739/94 - Ensaio de resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos.
- NBR NM 55/96 - Ensaio de resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos.

Resultados

A Tabela 3 mostra os resultados das resistências à tração na flexão e à compressão, bem como a correlação entre estas resistências do concreto compactado com rolo – CCR. Os resultados estão agrupados por lotes. Da mesma forma a Tabela 4 mostra os resultados de resistência dos concretos utilizados para confecção das placas e a correlação entre as resistências.

Tabela 3 – Resultados de Resistência do CCR

Lote	Resistência característica estimada à tração na flexão (fctMk) em MPa	Resistência característica estimada à compressão axial (fck) em MPa	Relação entre as resistências à tração na flexão e compressão axial (fctMk/fck)
1	1,8	11,2	0,16
2	1,5	10,5	0,14
3	2,0	10,1	0,20
4	2,2	11,5	0,19
5	2,6	11,7	0,22
6	2,0	9,6	0,21
7	2,8	12,2	0,23
8	2,5	12,9	0,19
9	2,7	14,8	0,18
10	2,9	14,8	0,20
11	3,3	11,0	0,30

Tabela 4 - Resultados de Resistência das Placas de Concreto

Lote	Resistência característica estimada à tração na flexão (fctMk) em MPa	Resistência característica estimada à compressão axial (fck) em MPa	Relação entre as resistências à tração na flexão e compressão axial (fctMk/fck)
1	5,0	39,6	0,13
2	5,2	37,1	0,14
3	4,6	37,7	0,12
4	4,7	38,9	0,12
5	4,6	34,8	0,13
6	4,9	36,8	0,13
7	4,9	34,4	0,14
8	5,2	36,1	0,14
9	5,5	36,7	0,15
10	4,6	38,9	0,12
11	4,8	38,0	0,13
12	4,6	34,6	0,13
13	4,6	39,1	0,12
14	4,4	36,7	0,12
15	4,8	37,1	0,13



16	4,8	-	-
----	-----	---	---

CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos no controle tecnológico dos concretos mostra que as resistências dos concretos utilizados (CCR e placa) na revitalização da avenida Santa Bernadethe em Curitiba atenderam as exigências de projeto. O projeto do sistema de apoio das barras de transferência, conforme utilizado nesta obra, é importante para garantir a não movimentação das mesmas, impedindo patologias construtivas. Como pode ser observado na tabela 2, o uso de equipamentos de forma deslizante traz vantagens econômicas no que diz respeito à quantidade de cimento necessária para alcançar a resistência de projeto, quando comparado a equipamentos de pequeno porte. A utilização destes equipamentos em vias urbanas garantiu a qualidade do pavimento e a produtividade necessária para realização da obra. Com a execução da pavimentação em concreto, bem como das calçadas, ciclovias e paisagismo, a avenida Santa Bernadethe foi totalmente revitalizada, garantindo uma melhoria de vida aos moradores das circunvizinhança e melhor fluxo de veículos na ligação do bairro Portão com a futura Linha Verde em Curitiba (figura 16).



Figura 16. Panorama da Avenida Santa Bernadethe após a conclusão das obras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 55/96: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT 049/2004 - ES: Pavimento Rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de formas-deslizante – Especificação de serviço**, Brasília, 2004.

GIUBLIN, C.R.: ET.al. **Pavimento de Concreto nas vias de acesso ao Porto de Paranaguá**. 47º Congresso Brasileiro do Concreto, Olinda, 2005.

PITTA, M. R. **Construção de pavimentos de concreto simples**. 3.ed. São Paulo: ABCP, 1998.