AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA E DEFLECTOMETRIA DE PAVIMENTO COM CIMENTO DE RCC

Valdir Moraes Pereira [(1)]; Raphael Baldusco [(1)]; Valdecir Angelo Quarcioni [(1)]; Rubens Vieira [(1)]; Elaine Soares [(1)]; Patricia Barboza da Silva [(2)]; Sérgio Cirelli Angulo [(3)]

(1) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) – vpereira@ipt.br; (2) Universidade Presbiteriana Mackenzie – patricia.silva1@mackenzie.br; (3) Universidade de São Paulo – sergio.angulo@usp.br

RESUMO

A maioria dos estudos de reciclagem de materiais na construção civil visa reaproveitar os agregados de resíduos da construção civil (RCC) como areia e brita, no entanto, poucos estudos e aplicações da fração fina são consolidadas no meio técnico/científico. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a execução de uma obra piloto (trecho experimental/piloto) de pavimentação na cidade de Guarulhos - SP em que se empregaram agregados reciclados e naturais com cimento produzido a partir de finos de RCC. Para controle de compactação das camadas do pavimento e acompanhamento pós-execução, foi realizado o ensaio de deflexão por meio da viga Belkelman em todos os trechos executados. Paralelamente também são apresentados os resultados de módulo de resiliência dos materiais utilizados para execução dos trechos. Os resultados mostraram que o módulo de resiliência do subleito e da base do pavimento foram, em média, 68% dos valores de deflexão admissível. Os resultados de deflexão do pavimento indicaram que os trechos executados com agregado reciclado e natural com cimento de RCC apresentaram desempenho superior a BGS e desempenho inferior a BGTC. Verificou-se uma tendência da deflexão dos trechos executados com cimento de RCC se aproximarem dos resultados do trecho executado com BGTC. Este comportamento pode ser explicado pela ação da reação pozolânica no cimento de RCC.

Palavras-chave: RCC, cimento de RCC, projeto piloto, deflexão.

MECHANICAL EVALUATION OF PAVEMENT MADE WITH CDW CEMENT

ABSTRACT

Most of materials recycling studies in the construction industry aim to reuse the aggregates from civil construction waste (sand and gravel); however, few studies and applications of the fine fraction are consolidated in the technical / scientific environment. In this way, the present work aims to present the execution of a pilot project (experimental section) of paving in the city of Guarulhos - SP in which recycled and natural aggregates were used with cement produced from CCW fines. In order to control the compaction of the pavement layers and post-execution monitoring, the deflection test was carried out by means of the Belkelman beam in all stretches. In parallel, the results of the resilience modulus of the materials used to execute the stretches are also presented. The results of pavement deflection indicated that the runs performed with recycled and natural aggregate with CCW cement presented performance superior to BGS and performance lower than BGTC, as predicted. The results also showed that there is a tendency of the runs performed with CCW cement to approach the results of the run with BGTC. This behavior can be explained by the action of the pozzolanic reaction on CCW cement.

Key-words: RCC, RCC cement, experimental project; deflection.

1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos sobre o aproveitamento de agregados reciclados têm sido realizados [1], principalmente no que diz respeito ao uso em camadas de estabilização de pavimentos, para enchimento de aterros e valas [2] e/ou como agregados para uso em concretos [3], [4].

A fração fina de agregados reciclados tem poucas aplicações consolidadas no meio técnico/científico. Estudos têm verificado o potencial parcial de recuperação da capacidade ligante desta fração, desde que seja realizado um tratamento térmico no material em temperaturas inferiores a 600 °C [5], [6]. Assim, o uso dos agregados reciclados de RCC com finos "reativos" pode tornar uma alternativa viável para atender às características técnicas e mecânicas de camadas estruturais de pavimento, possuindo propriedades adequadas para atendimento do volume e tipo de tráfego esperado em vias urbanas.

Um dos grandes potenciais de uso do cimento e agregados de resíduos da construção civil (RCC) consiste em compor os materiais de base de pavimentos semirrígidos para vias de moderado-elevado tráfego de veículos, pois este tipo de aplicação demanda resistência mecânica de, aproximadamente, 3,5 MPa e módulo de resiliência superior à 3.000 kgf/cm².

Dados da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) [7] indicam que a cidade possui uma malha viária de, aproximadamente, 17.000 km, sendo que 16.000 km dessas vias são pavimentadas. Salienta-se que, além dos 1.000 km de vias não pavimentadas, existem também as vias que, embora não quantificadas pelas estatísticas da PMSP, apresentam elevado grau de deterioração, sendo necessária a sua reconstrução e/ou recuperação parcial.

Diante do exposto, o IPT tem realizado trabalhos de desenvolvimento de cimento de baixa resistência mecânica a partir de RCC (cimento de RCC) e uso combinado com a fração agregado ("não reativa") de RCC. Neste sentido, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar a execução de um trecho experimental de pavimento usando estes materiais. O trecho experimental foi executado no município de Guarulhos-SP em parceria com a empresa Proguaru. No artigo são apresentados resultados de deflexão no revestimento do trecho piloto em até 8 meses após a sua execução. Paralelamente, também são apresentados os resultados de módulo de resiliência dos materiais utilizados na execução da base da estrutura do pavimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As nomenclaturas dos materiais utilizados na execução do trecho experimental são apresentadas a seguir:

- **BG_RTC_{RCC}:** Brita graduada reciclada tratada com cimento de RCC (Agregado reciclado + cimento de RCC) – Denominado sub-trecho 1;
- **BG_NTC_{RCC}:** Brita graduada natural tratada com cimento de RCC (Agregado natural + cimento de RCC) – Denominado sub-trecho 2;
- **BGTC:** Brita graduada tratada com cimento Portland convencional (Trecho de referência) – Denominado sub-trecho 3;
- **BGS:** Brita graduada simples convencional (trecho de referência) – Denominado sub-trecho 4.

2.1. Materiais

2.1.1 Cimento de RCC

O processamento do cimento de RCC foi realizado por meio de peneiramento, moagem e tratamento térmico. O cimento de RCC foi produzido a partir do processamento dos finos extraídos da areia reciclada (<4,8 mm), coletada na usina de reciclagem – UVR-Grajaú – SP. Em seguida, o cimento de RCC foi composto por frações tratadas e não tratadas termicamente. O tratamento térmico do cimento de RCC foi realizado em temperatura entre 500 e 600°C [5], [8], [6], [9].

Na Tabela 1 é apresentada a análise química do cimento de RCC e na Tabela 2 a sua massa específica, área superficial e tempos de início e fim de pega. É importante ressaltar a elevada área superficial (finura) do cimento de RCC, que justifica-se pela sua elevada porosidade [10].

Tabela 1 - Análise química do cimento de RCC (FRX).

Composto	(%)	Composto	(%)
SiO_2	45,1	TiO_2	1,36
$Al2O_3$	17,3	SO_3	0,66
Fe_2O_3	7,22	$P2O_5$	0,31
CaO	8,94	SrO	0,04
MgO	1,35	Mn_2O_3	0,12
K_2O	2,18	PF	15,1

Tabela 2 - Índices físicos do cimento de RCC.

Propriedade		Resultados
Massa específica (picnometria de gás hélio) (g/cm³)		2,67
Finura (Blaine) (NBR NM 16372) (cm²/g)		9390
Tempos de pega (NBR 16607) (h:min)	Início de pega	00:48
	Fim de pega	3:54

2.1.2 BG_RTC_{RCC}, BG_NTC_{RCC}, BGTC e BGS

A brita graduada reciclada tratada com cimento de RCC (BG_RTC_{RCC}) e brita graduada natural tratada com cimento de RCC (BG_NTC_{RCC}) foram produzidas com a utilização de cimento obtido a partir de finos de resíduos de construção e demolição (RCC), denominado Cimento de RCC e britas graduadas naturais e recicladas, também conforme (11) – faixa B (Figura 1).

Nas misturas com cimento de RCC (BG_RTC_{RCC} e BG_NTC_{RCC}) foram utilizados 12% de ligante e na BGTC, 4% de cimento Portland comum.

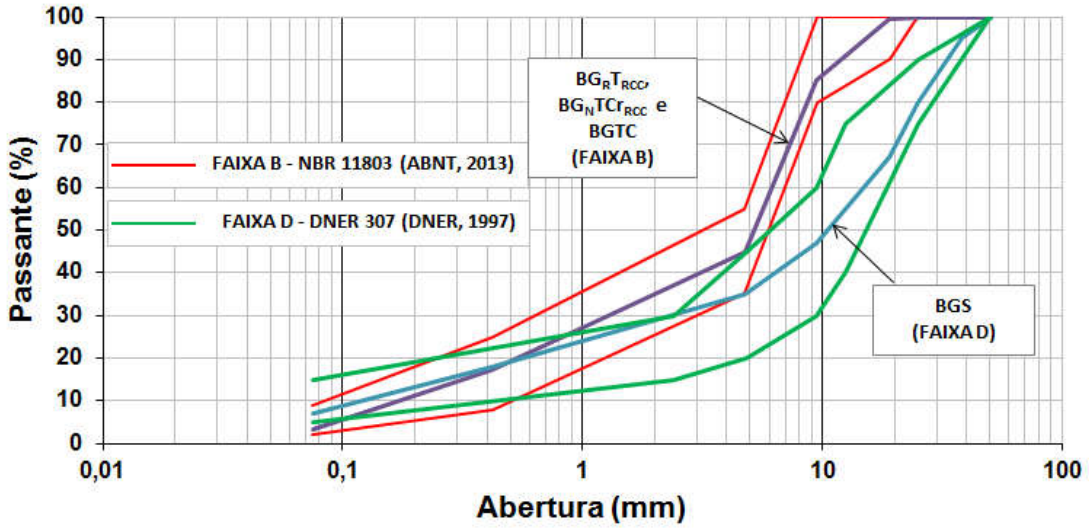


Figura 1 - Granulometria e faixas granulométricas dos agregados utilizados no trecho experimental: BGRTCRCC; BGNTCRCC; BGTC e BGS.

No trecho executado com BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento) (mistura de referência) foi utilizado cimento CPV ARI 40, sendo seu uso justificado devido à necessidade de ganho de resistência nas primeiras idades para liberação do tráfego. Além do cimento, a BGTC foi preparada com agregados naturais graduados conforme a (11) – faixa B (Figura 1). Para a brita graduada simples - BGS (mistura

de referência) foram utilizados agregados naturais graduados (Figura 1) conforme a ET-DE-P00/008 [12] (Faixa D).

2.2. Dimensionamento do pavimento

O dimensionamento estrutural do pavimento foi realizado de acordo com o método IP-04 – Dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio da Prefeitura Municipal de São Paulo [13].

O dimensionamento das camadas do pavimento foi realizado adotando-se o valor de "N" característico de 5 x 10^5 (tráfego médio). O número "N" corresponde à quantidade de ciclos (repetições) dos eixos dos veículos equivalentes ao eixo padrão rodoviário (8,2 ton), o qual é o período estimado de vida útil do pavimento.

Posteriormente, foi calculado o coeficiente estrutural da camada de sub-base e determinadas as espessuras das camadas subjacentes (base e sub-base). Ressalta-se que as camadas de base com cimento de RCC foram dimensionadas considerando um coeficiente de equivalência estrutural de valor unitário, isto é, K=1.

2.2.1. Características estruturais do pavimento

Os materiais, módulos de resiliência, espessuras, coeficientes de Poisson e tensões admissíveis (σ_{adm}) das camadas do pavimento são apresentados na Tabela 3. O cálculo das deflexões máximas admissíveis de cada camada do pavimento foi realizado com o auxílio do Programa Computacional Elsym 5 (*Elastic Layered System*), desenvolvido segundo modelo da teoria da elasticidade. As deflexões foram determinadas correspondentes às fibras superiores de cada camada. Neste cálculo considerou-se duas cargas de 2.050 kgf e raio da área de contato de 15 cm. Os parâmetros utilizados para as análises e as deflexões máximas admissíveis são apresentados na Tabela 3.

Cabe observar que as deflexões máximas admissíveis nas estruturas, onde foram utilizadas misturas com cimento de RCC (sub-trecho 1 - BG_RTC_{RCC} e sub-trecho 2 - BG_NTC_{RCC}), foram calculadas adotando-se o mesmo valor do módulo de resiliência e coeficiente de Poisson de uma camada de brita graduada simples (BGS).

Os valores de módulo de resiliência apresentados na Tabela 3 foram extraídos da Instrução de Projeto IP-DE-P00/001 – Projeto de pavimentação [14].

Tabela 3 - Parâmetros de entrada para o cálculo das deflexões máximas admissíveis no Programa Computacional Elsym5.

Camada	Material	Módulo de resiliência (kgf/cm²)	Espessura (cm)	Poisson(*)	Deflexão máxima admissível (mm)
Revestimento	CBUQ (**)	35.000	5	0,30	***
Base	BGS ou misturas com cimento de RCC (BG_RTC_{RCC} e BG_NTC_{RCC})	3.000	16	0,35	85×10^{-2}
Base	BGTC	70.000	16	0,20	
Sub-base	Bica corrida reciclada	2.500	15	0,35	127×10^{-2}
Subleito	Solo local	500	-	0,40	158×10^{-2}

(*) Valores estimados de acordo com IP - 08/2004 (Análise mecanicista à fadiga de estruturas de pavimento);
(**) Concreto betuminoso usinado a quente;
(***) Apresentadas nos resultados do trabalho (Figura 6).

Para avaliar o desempenho das misturas cimentícias, a via (~200 m) foi dividida em quatro sub-trechos (sub-trecho 1, 2, 3 e 4), diferenciando-se apenas pelo material utilizado na camada de base do pavimento e em função do comprimento. Na Tabela 4 são apresentadas as dimensões dos sub-trechos executados no trabalho.

Tabela 4 - Dimensões do Trecho Experimental.

Local	Extensão (m)	Espessura da base (cm)	Largura das faixas de rodagem (m)	Área (m²)	Volume (m³)
Sub-trecho 1: Agregado reciclado + cimento de RCC (BG_RTC_{RCC})	26,0	16	8,0	208,0	33,28
Sub-trecho 2: Agregado natural + cimento de RCC (BG_NTC_{RCC})	40,5	16	8,0	324,0	51,84
Sub-trecho 3: Brita Graduada Tratada com cimento (BGTC)	44,0	16	8,0	352,0	56,32
Sub-trecho 4: Brita Graduada Simples (BGS)	106,0	16	8,0	800,0	135,68

Na Figura 2 são apresentadas as espessuras e materiais utilizados nas camadas do pavimento. Foi adotado um valor de CBR ≥ 10% no subleito de todos os sub-trechos. Já as espessuras da sub-base foram dimensionadas adotando-se um CBR ≥ 56% (energia normal), o que resultou em uma espessura da camada de 15 cm. Para todos os sub-trechos, o dimensionamento resultou uma espessura de 16 cm para a base e espessura de capeamento de 5 cm (CBUQ).

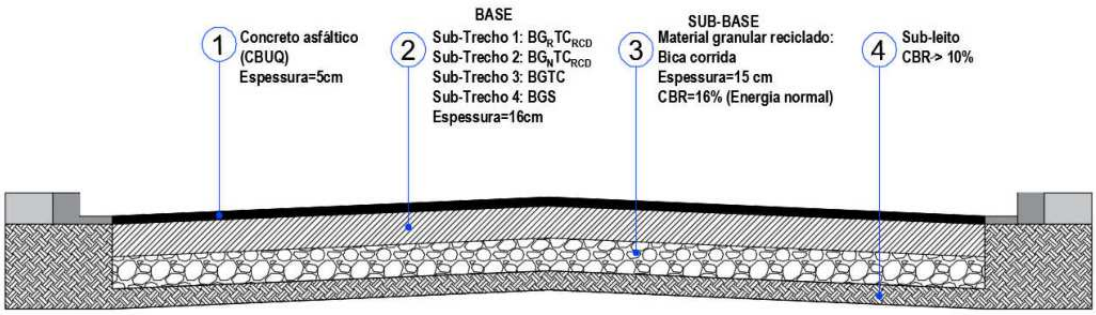


Figura 2 - Seções tipo do pavimento executado.

2.3. Ensaios de controle

2.3.1. Módulo de resiliência

Os ensaios de módulo de resiliência foram realizados em corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 mm x 200 mm, conforme a norma técnica DNIT-ME 134/2010 – Pavimentação – Solos: Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio [15]. Após a compactação, todos os corpos de prova foram submetidos à cura úmida e os ensaios foram realizados aos 7 e 28 dias de idade.

2.3.2. Análise deflectométrica

Os ensaios de deflexão foram realizados no pavimento executado de acordo com a norma DNER-ME 024/94 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman [16]. As medições deflectométricas foram realizadas na camada do revestimento final do pavimento.

As localizações dos pontos de deflexão medidos na via são apresentadas na Tabela 5. Os ensaios foram realizados a uma distância de 0,90 m da borda da via.

O conjunto de rodas duplas traseiras do caminhão foi centrado 0,90 m da trilha externa, ficando o seu eixo traseiro perpendicular ao eixo da pista de rolamento. A ponta da viga Benkelman foi posicionada

entre os pneus da roda dupla. Após o posicionamento da ponta da viga na vertical do eixo traseiro e assegurada a referência, a viga foi destravada e liberada.

Tabela 5 - Localização dos pontos de deflexão medidos na via urbana.

Largura da faixa de tráfego (m)	Distância da borda do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

Para as medições deflectométricas foi utilizado caminhão com eixo simples e roda dupla, pneus com pressão de 5,7 kgf/cm² e carga de 8,2 tf no eixo traseiro. As deflexões foram medidas ao longo de toda a via, no lado direito (LD) e no lado esquerdo (LE). Para cada lado, foram medidas deflexões na trilha de roda interna (TI) e trilha de roda externa (TE), conforme esquema apresentado na Figura 3.

O valor de deflexão apresentado foi o de deflexão característica, que é determinado por meio da soma da deflexão média e o desvio padrão dos resultados (deflexão média + 1 desvio padrão). O valor da deflexão característica pode ser utilizado como critério de aceitação de trechos de estruturas de bases de pavimentos [17].

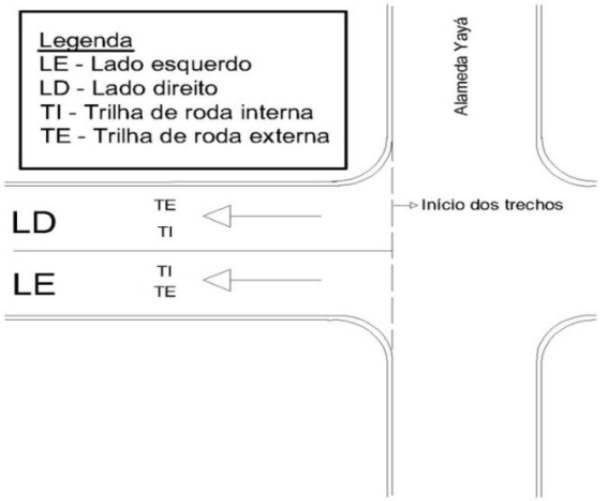


Figura 3 - Esquema com referências utilizadas para a execução do controle deflectométrico no trecho experimental.

3. RESULTADOS PARCIAIS

O trecho experimental foi executado na Rua Miguel Biondi, via urbana situada entre a Avenida Torres Tibagy e Alameda Yayá, no Município de Guarulhos, SP. A via foi selecionada em função de atender as características de tráfego (tráfego médio) e por constar no planejamento de manutenção das vias da cidade de Guarulhos-SP.

3.1. Módulo de resiliência

As normas NBR 11803 [11] e NBR 12261 [18] indicam que materiais para base devem apresentar faixas granulométricas bem graduadas e adição de cimento da ordem de 4% em massa. Em termos de comportamento mecânico frente às solicitações cíclicas, geralmente o módulo de resiliência de materiais utilizados na execução de pavimentos deve apresentar valores da ordem de 3.000 kgf/cm² a 12.000 kgf/cm² [19].

Os resultados de módulo de resiliência da BG_RTC_{RCC}, BG_NTC_{RCC}, nas idades de 7 e 28 dias, são apresentados na Figura 4, onde é possível verificar que somente a amostra BG_RTC_{RCC} não atingiu os resultados mínimos desta propriedade, obtendo valores inferiores a 3.000 kgf/cm², conforme recomendado por [19]. No entanto, os resultados verificados para a amostra BG_NTC_{RCC} foram superiores a 3.000 kgf/cm², comprovando a sua viabilidade para o uso em bases de pavimentos.

Outro fator importante observado nos resultados de módulo de resiliência (Figura 4) foi o aumento desta propriedade com a idade, verificando-se que o valor do módulo de resiliência aumentou, cerca de, 118% e 300% para as amostras BG_NTC_{RCC} e BG_RTC_{RCC}, respectivamente. Este comportamento também foi verificado nos resultados de deflectometria (ver item 3.2).

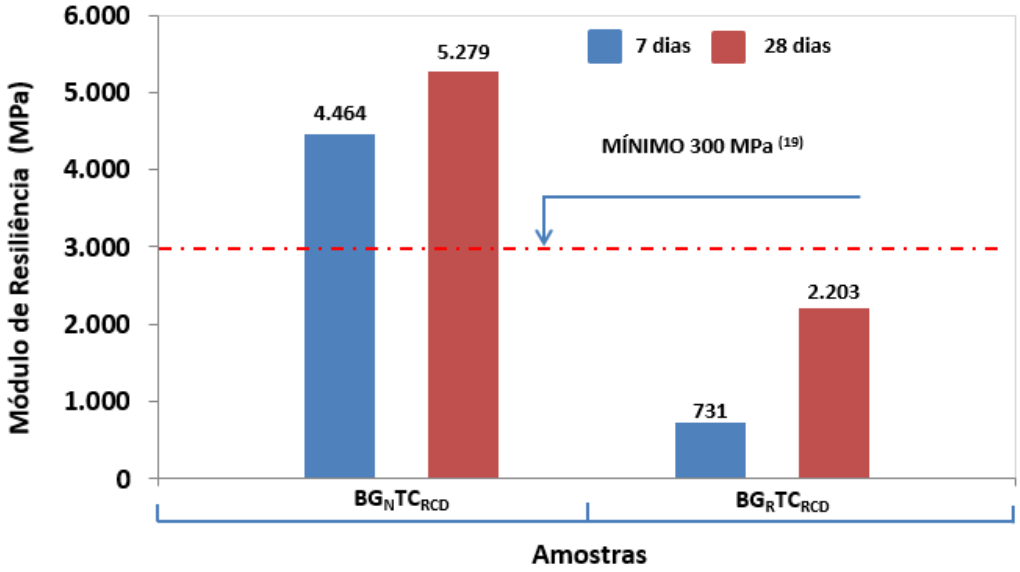


Figura 4 - Módulo de resiliência das misturas.

O menor desempenho de módulo de resiliência obtido para as amostras de BG_RTC_{RCC} pode ser explicado frente à diferença do comportamento mecânico dos agregados naturais e agregados reciclados, principalmente no que diz respeito ao módulo de elasticidade. Os agregados reciclados geralmente possuem menor resistência mecânica do que os agregados naturais, isto por que os agregados graúdos reciclados geralmente possuem uma camada de argamassa aderida e são mais porosos, o que influencia na absorção de água do agregado e, consequentemente, em diversas outras propriedades [20], [21].

3.2. Análise deflectométrica

Na Figura 5 são apresentados os resultados de deflexão na camada de revestimento do pavimento durante a execução do Trecho Piloto. Observou-se que somente o sub-trecho 2 da sub-base apresentou deflexão acima da deflexão admissível determinado em projeto. Por outro lado, a deflexão no sub-leito e na base do pavimento foram, em média, 68% da deflexão admissível destas camadas.

Os resultados obtidos para o controle de compactação por comportamento resiliente no topo das camadas de subleito, sub-base e base indicam que o processo de compactação foi realizado de maneira eficiente, pois na maioria dos casos as deflexões apresentadas no topo das camadas foram inferiores a deflexão máxima admissível obtida pelo Elsym 5.

Somente no topo da camada de sub-base do sub-trecho 2, a deflexão característica medida em campo apresentou-se acima da deflexão máxima admissível. Por outro lado, observou-se que no topo da camada de base deste mesmo trecho a deflexão característica ficou abaixo da deflexão máxima admissível neste mesmo ponto. É importante ressaltar que em muitos casos onde o valor da deflexão obtida em campo é superior à deflexão admissível, isso não significa que a camada do pavimento não resista mecanicamente ao tráfego e carregamentos a qual está exposta. Este comportamento se deve, principalmente, à elevada dispersão dos dados neste tipo de ensaio [22].

Os resultados de deflexão do trecho experimental obtidos em 4 meses e 8 meses após a execução podem ser observados na Figura 6. Os resultados obtidos nesta análise mostraram que as deflexões nos trechos com cimento de RCC (BG_RTC_{RCC} – sub-trecho 1 e BG_NTC_{RCC} – sub-trecho 2) foram intermediárias às obtidas nos sub-trechos executados com BGTC (sub-trecho 3) e com BGS (sub-trecho 4).

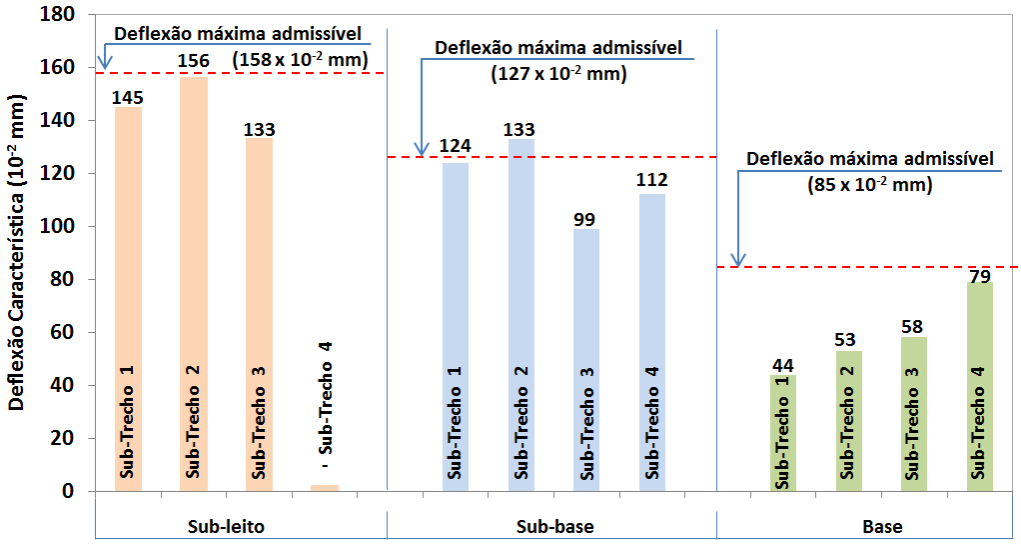


Figura 5 - Deflexão nas camadas do pavimento durante a execução do trecho experimental.

Na idade inicial (após a execução), foi possível verificar que o sub-trecho 1, executado com cimento de RCC e agregado reciclado (BG_RTC_{RCC}), apresentou maiores valores de deflexão do que o sub-trecho 2, executado com cimento de RCC e agregado natural (BG_NTC_{RCC}), indicando menor deformação do último, o que também indica maior tendência de durabilidade [23]. Este comportamento também pode ser explicado pela menor rigidez desta camada, pois a BG_RTC_{RCC} foi o material com módulo de resiliência mais baixo obtido no ensaio (Figura 8), o que ocorre pela sua maior porosidade

e, consequentemente, menor massa específica aparente seca o que pode diminuir o módulo de resiliência.

Os resultados apresentados na Figura 6 mostraram uma tendência de redução da deflexão no revestimento do pavimento com o decorrer do tempo. A redução da deflexão em função do tempo pode ser explicada porque nos primeiros meses após a execução as camadas do pavimento estão em fase de consolidação e, dessa forma, as deflexões apresentadas serão maiores [19], com as solicitações do tráfego ocorridas neste período a estrutura ficará estável e atingirá a fase elástica.

Nos sub-trechos 1, 2 e 3 além da consolidação inicial dos materiais pode ter ocorrido contribuição da presença de base cimentada para a diminuição das deflexões ao longo do tempo, conforme apresentado a seguir.

- **Sub-trecho 1, 2 e 3:** como estes sub-trechos utilizam camada de base cimentada, ou seja, há ligante em sua composição, a hidratação do cimento pode ter proporcionado aumento da resistência mecânica e do módulo de resiliência com o tempo, elevando a rigidez da camada de base e contribuindo assim com a diminuição da deflexão;
- **Sub-trecho 4:** Para o trecho executado com BGS, a diminuição da deflexão é devida principalmente a fase de consolidação, pois com a passagem de veículo sobre a via, há uma acomodação das partículas e consequente aumento da rigidez da estrutura.

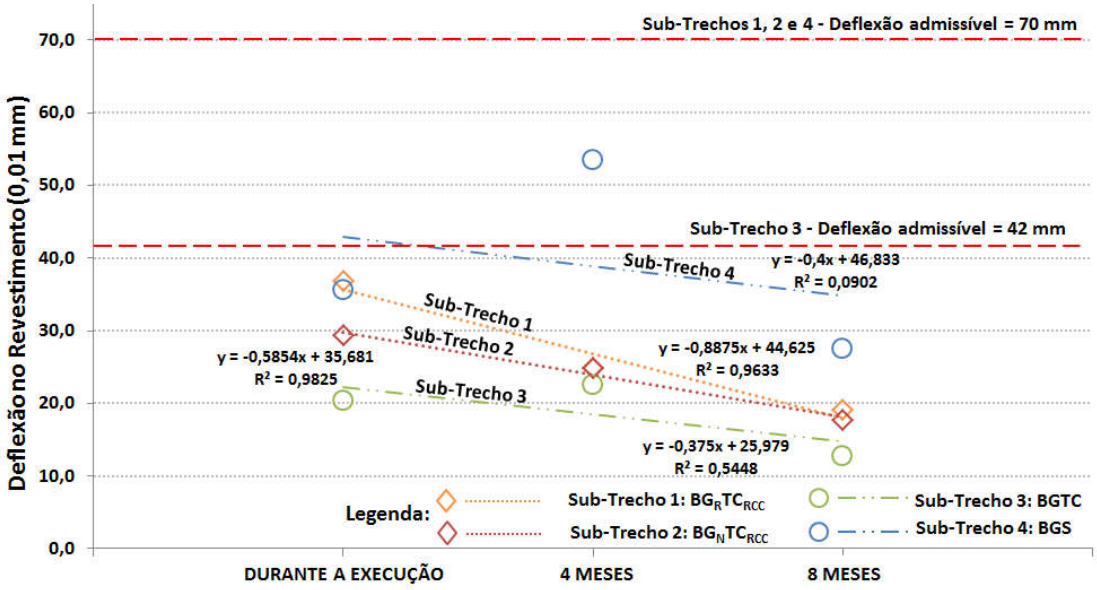


Figura 6 - Deflexão no revestimento durante a execução, após 4 meses e 8 meses de execução do Trecho.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve o objetivo de apresentar os resultados de deflexões obtidos na execução do trecho experimental de pavimento executado com cimento de RCC.

De forma geral, foi possível verificar que o uso de cimento de RCC pode ser considerado viável tecnicamente, apresentando potencialidade de uso e atendimento às necessidades para aplicação em obras de pavimentação de vias urbanas.

As avaliações deflectométricas mostraram que os trechos executados com cimento de RCC tiveram comportamento intermediário aos obtidos para os trechos executados com BGTC e BGS e que o tempo/idade tem contribuído para a diminuição da deflexão do pavimento, que provavelmente está ocorrendo pelo aumento da rigidez da camada em função da reação pozolânica no cimento de RCC, comprovando com o aumento do módulo de resiliência observado nos ensaios de laboratório.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos pelo apoio na execução do trecho experimental às seguintes empresas: Fiori do Brasil (Fiori Group), Progresso e Desenvolvimento de Guarulhos (Proguaru), em nome dos funcionários Deborah Oliveira e Claudemir Ferreira de Mello. Os autores também agradecem à InterCement e ao BNDES pelo financiamento do projeto.

6. REFERÊNCIAS

1. VAZQUEZ, E. **Progress of Recycling in the Built Environment: Final Report of the RILEM Technical Committee** 217-PRE, 2013.
2. CARDOSO, R.; SILVA, R.V.; BRITO; J.; DHIR, R. Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review, **Waste Manag**. 49 (2016) 131–145.
3. ÂNGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**, Universidade de São Paulo, 2005.
4. ULSEN, C. **Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição**, Universidade de São Paulo, 2011.
5. GUILGE, M.S. **Desenvolvimento de ligante hidráulico a partir de resíduos de Cimento Hidratado, Tijolo Cerâmico e Metacaulinita**, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2011.
6. SHUI, Z.; XUAN, D.; CHEN, W.; YU, R.; ZHANG, R. Cementitious characteristics of hydrated cement paste subjected to various dehydration temperatures, **Constr. Build. Mater**. 23 (2009) 531–537.

7. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP). Inovações na Pavimentação Urbana - Perspectivas Outubro/2017. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/ACESSO%20WEB%20novo/NORMAS%20TECNICAS/PALESTRAS%20SEMINARIO%202017/20171025__seminariopavimentacaourbana_secretariodesmso.pdf. Acesso em: 14/06/2019.
8. SHUI, Z.; XUAN, D.; WAN, H.; CAO, B. Rehydration reactivity of recycled mortar from concrete waste experienced to thermal treatment, **Constr. Build. Mater**. 22 (2008) 1723–1729.
9. XUAN, D.X.; SHUI, Z.H. Rehydration activity of hydrated cement paste exposed to high temperature, **Fire Mater**. 35 (2011) 481–490.
10. SILVA, R. B**. Reidratação de cimento de alto-forno: Análise e otimização por técnicas combinadas de caracterização.** Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11803** - Materiais para base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.
12. DEPARTAMENTO DE ESTRADA DE RODAGEM (DER). **ET-DE-P00/008** – Sub-base ou base de brita graduada. Rio de Janeiro, 2005.
13. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP). **IP-04** - Dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego leve e médio. São Paulo, 2004.
14. DEPARTAMENTO DE ESTRADA DE RODAGEM (DER). **ET-DE-P00/001** – Projeto de pavimentação. Rio de Janeiro, 2006.
15. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **ME 134** – Pavimentação – Solos: Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.
16. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM (DNER). **ME 024** – Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman. Rio de Janeiro, 1994.
17. SALVIANO, W. R. A. **Análise do controle construtivo de um pavimento semirrígido por deflexão**. Dissertação. Mestrado COOPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12261** – Dosagem de brita graduada tratada com cimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.
19. BERNUCCI, L.B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA. 501p. 2007.
20. GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduo de concreto – Um novo material para dosagens estruturais**. Dissertação – Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2001.
21. BEUSHAUSEN, H.; DITTMER, T. The influence of aggregate type on the strength and elastic modulus of high strength concrete. **Constr. Build. Mater**. 74 (2015) 132-139.
22. FERRI, S. et al. **Proposição de metodologia para análise de risco em estruturas de pavimentos asfálticos flexíveis**. Transportes, v. 25, n. 1, 2017.
23. MACEDO, F. N. **Retroanálise de bacias de deflexão reais e teóricas obtidas por métodos estáticos e dinâmicos**. Dissertação. Universidade de Brasília. Brasília 2003.