

# ABORDAGEM TOPOGRÁFICA DE SUPERFÍCIES PROTETORAS NA DURABILIDADE DO CONCRETO <sup>(1)</sup>

Joana D. Silva <sup>(2)</sup>  
Carmen C Ribeiro <sup>(3)</sup>  
G. Cristina Godoy <sup>(4)</sup>  
J. K. Morais <sup>(5)</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo verificar a influência de superfícies protetoras na durabilidade do concreto em meios agressivos, através de uma abordagem topográfica 3D. Foram produzidos corpos de prova de concreto de alta performance, que se caracteriza por um baixo fator água-cimento, baixa permeabilidade e alta durabilidade. O concreto adotado foi, então, protegido por camadas protetoras (borracha clorada e alcatrão) e submetido a um meio agressivo ácido ( $H_2SO_4$  a 2,5%). O desempenho destas proteções foi avaliado através da técnica de perfilometria, que forneceu imagens topográficas e dados estatísticos (parâmetros de superfície), permitindo a comparação das texturas superficiais dos concretos, antes e após ataque químico. Foram obtidas imagens das texturas superficiais e parâmetros de amplitude e estatísticos, associados à curva de distribuição de amplitudes, dos perfis topográficos 3D do concreto. Este procedimento foi realizado para o concreto, com e sem camada protetora, antes e após ataque químico. Este procedimento possibilitou avaliar se a camada depositada sobre a superfície do concreto de fato protege a superfície do mesmo ao ataque químico realizado e determinar qual das camadas estudadas foi mais protetora. A partir da curva de razão de material versus profundidade ao longo do perfil, obtiveram-se valores de área de suporte associados à quantidade de material e valores de volumes de vazios presentes no perfil superficial, antes e após ataque. Concluiu-se que todos os parâmetros de amplitude aumentaram significativamente com o ataque químico, devido ao aumento da rugosidade. Além disso, concluiu-se que a proteção de borracha clorada foi mais efetiva que o alcatrão. A perfilometria mostrou-se uma ferramenta poderosa nos estudos de camadas protetoras do concreto, podendo ser muito útil na análise da durabilidade do concreto.

**Palavras-chave:** Durabilidade do concreto; Perfilometria; Superfície protetora.

<sup>1</sup> 60º Congresso Anual da ABM. 25 a 28 de Julho de 2005. Belo Horizonte.

<sup>2</sup> Eng<sup>a</sup> Civil, Prof<sup>a</sup> PUC.MG, doutoranda do CPGEM;

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Civil, Prof<sup>a</sup> UFMG, Doutora pela École Nationale des Ponts et Chaussées;

<sup>4</sup> Física, Prof<sup>a</sup> UFMG, Doutora pela UFMG;

<sup>5</sup> Eng<sup>a</sup> Química, mestre pela UFMG, Doutoranda CPGEM.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo verificar a influência de superfícies protetoras na durabilidade do concreto em meios agressivos, através de uma abordagem topográfica 3D.

O estudo tem como premissa um concreto de alta performance, que se caracteriza por um baixo fator água-cimento, baixa permeabilidade e alta durabilidade. O concreto adotado foi, então, protegido por uma camada protetora e submetido a meios agressivos. O desempenho desta proteção foi comparado a outro tipo de camada protetora, o que permitiu selecionar a mais adequada como proteção do concreto em meios agressivos, através da técnica de perfilometria, que fornece imagens topográficas e dados estatísticos (parâmetros de superfície), possibilitando a descrição detalhada das texturas superficiais dos concretos.

A relevância deste trabalho está em correlacionar métodos de análise de estrutura com estudos que vêm sendo realizados na engenharia civil, contribuindo para consolidar a interface entre áreas do conhecimento diversas, porém complementares, e propiciando um significativo avanço tecnológico no emprego do concreto de alta performance.

O concreto é um material de larga aplicação na construção civil, obtido pela composição de cimento Portland, agregados miúdos e graúdos e água, podendo conter aditivos, que também influenciam o seu desempenho. A proporção de seus componentes (dosagem ou traço) deve atender às condições requeridas de resistência, trabalhabilidade, impermeabilidade e durabilidade, que são propriedades fundamentais do concreto. A resistência fornece normalmente uma indicação geral de sua qualidade, por estar diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento endurecida (MEHTA, 1994; NEVILLE, 1982).

O concreto fresco deve ter uma trabalhabilidade adequada às condições de utilização, transporte, lançamento e adensamento. O concreto endurecido deve ter suas características definidas pela resistência aos esforços mecânicos a que será submetido e por sua durabilidade (RIBEIRO et al, 2002).

Considerando que a resistência à compressão é a propriedade fundamental do concreto, há uma discussão do que vem a ser de fato um concreto de alta resistência, pois não há um consenso no que se refere à esta questão. Por definição, concretos de altas resistências são aqueles cujos valores de resistência estão acima dos usualmente utilizados em determinada época (AMARAL, 1992; AITCIN, 2003).

Os concretos de alta resistência podem ser obtidos com cimento comum e plastificantes, de forma a reduzir a relação a/c, com cimento e polímeros ou com cimento e certos tipos de pozolana e plastificantes e relação a/c baixa. Os concretos de cimento com adição de microssilica e superplastificantes são conhecidos como concretos de alto desempenho, cuja principal característica é aliar alta resistência e durabilidade.

Segundo Hervé, a Europa e a América contabilizaram seus custos de manutenção em estruturas de concreto em um passado recente e optaram pela adoção de novos procedimentos tecnológicos centrados na durabilidade. Estudos realizados concluíram, então, pela necessidade de redução da água total nos traços do concreto, como forma de reduzir a fissuração e a deformabilidade conseqüente, apontadas como responsáveis pela pouca durabilidade e patologias (HERVÉ, 2000).

Os grandes avanços obtidos com a evolução tecnológica exigiram uma maior atenção quanto à durabilidade do material, que passou então a ser abordada de

uma forma mais efetiva pela Normalização Brasileira. Em sua nova versão, a normalização considera que todos os elementos estruturais de uma edificação, lajes, vigas e pilares, terão de apresentar, independentemente do projeto, uma espessura mínima de cobrimento, visando garantir uma maior durabilidade e, conseqüentemente, uma maior vida útil das edificações (NBR6118, 2004).

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas no projeto e quando utilizadas corretamente, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante um período mínimo de 50 anos, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo. Portanto, um concreto durável é aquele que resiste às condições para o qual foi projetado, sem deterioração, por muitos anos (NBR 6118, 2004; NEVILLE, 1982).

A deterioração do concreto raramente é devida a uma causa isolada. Um concreto pode muitas vezes ser satisfatório, apesar de alguns aspectos desfavoráveis, mas um único fator adverso suplementar pode provocar a sua deterioração. A permeabilidade é o principal determinante da vulnerabilidade do concreto aos agentes externos. Logo, para ser durável, um concreto tem que ser impermeável e protegido.

Em ambientes fortemente agressivos, além do cobrimento mínimo da armadura o concreto deve receber uma proteção adicional, que destina-se a reduzir a sua porosidade, impermeabilizar a sua superfície e elevar a resistência ao intemperismo.

Almusallam em seu trabalho "*Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability*", classifica as proteções do concreto em acrílicas, emulsões de polímero, resinas epóxi, poliuretanos, borrachas cloradas, resultantes de uma avaliação geral que o autor realizou sobre as proteções que vêm sendo utilizadas na engenharia civil, em função dos agentes agressores (ALMUSALLAM et al, 2003).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O concreto utilizado para os ensaios, tem como característica básica um fator água/cimento de 0,45, que é baixo comparativamente a outros concretos. Foi utilizado um aditivo superplastificante permitindo obter um concreto resistente, trabalhável e durável.

Foram realizados ataques ao concreto com solução de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 2,5%, por imersão, durante 7 dias, uma vez que segundo Almusallam, muitas pesquisas têm atribuído a deterioração dos concretos expostos a ambientes agressivos a uma má avaliação da exposição ao meio (ALMUSALLAM, 2003). O ataque realizado teve como principal objetivo, portanto, simular um ataque acelerado ao concreto para compará-lo com os efeitos decorrentes de meios agressivos.

Considerando que a proteção do concreto vem de encontro à necessidade de se proporem proteções suplementares, quando as estruturas estão expostas a ambientes agressivos, o que já é um consenso entre os pesquisadores de todo o mundo (ALMUSALLAM, 2003), foram utilizadas camadas protetoras à base de borracha clorada e alcatrão.

Atendendo às recomendações para a aplicação de camadas protetoras, a superfície áspera do concreto estava perfeitamente seca, limpa, isenta de pó e com idade superior a um mês. As camadas foram aplicadas em duas demãos, com trincha, com intervalo mínimo de 24 horas entre as aplicações (VEDACIT, 2003).

Através da técnica de perfilometria, avaliou-se o desempenho das camadas protetoras aplicadas sobre a superfície do concreto. Uma importante utilidade desta técnica é a possibilidade de separar os perfis de rugosidade e de ondulações de

uma superfície, sendo que esta separação é possibilitada pelo uso de um filtro. A determinação do filtro é muito importante, pois perfis muito diferentes são gerados com a alteração do filtro utilizado. Os filtros são denotados por  $\lambda_c$  e são denominados de *cut-off* (MUMMERY, 1992).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentadas neste trabalho as imagens topográficas das texturas superficiais dos concretos, antes e depois dos ataques, obtidas através da técnica de perfilometria. Utilizou-se o perfilômetro T4000 da HOMMELWERKE, do Laboratório de Recobrimentos Tribológicos do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG. Foi utilizado o apalpador móvel TKU 600; a área varrida foi de 15x15mm, sendo realizadas 30 medições com espaçamento de 517 $\mu$ m. Utilizou-se uma velocidade de 0,5 mm/s. A obtenção das imagens topográficas e a elaboração da metodologia utilizada foram realizadas através do software Turbo Rugosidade e Hommelmap Expert 3.0 (*Mountains*).

Foram obtidas texturas superficiais e parâmetros dos perfis do concreto selecionado, para descrição e diferenciação das texturas superficiais do material em estudo, com e sem camada protetora, possibilitando a correlação entre a textura superficial do concreto e a sua resistência aos ataques.

Ressalta-se que cada amostra utilizada foi varrida no mesmo sentido, antes e após o ataque, possibilitando o registro da mesma área, a fim de verificar a influência do ataque em uma certa região da proteção estudada.

A forma de obtenção dos dados para gerar as imagens e os parâmetros de rugosidade foi composta pelas seguintes etapas: geração do perfil original; remoção de forma com polinômio de grau 2; uso do filtro 2,5 mm para obtenção dos perfis de ondulação e de rugosidade; obtenção de parâmetros do perfil de rugosidade.

As varreduras no perfilômetro foram feitas no topo dos corpos de prova, de concreto de mesma dosagem e mesmo procedimento de confecção.

A fim de avaliar o processo de deterioração ao longo do tempo obtiveram-se, após ataque químico com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 2,5%, parâmetros de amplitudes, Sa, Sq, St e Sz, que estão resumidos nas Tabelas 1, 2 e 3. Foram comparados os perfis topográficos de dois tipos de proteção, borracha clorada e alcatrão, para avaliar o grau de proteção de cada um desses materiais (Figuras 1-6). Pode-se observar que a variação dos parâmetros obtidos nas superfícies dos concretos antes e após os ataques foi muito maior para o concreto sem nenhuma proteção, seguido do com proteção de alcatrão e, finalmente, do concreto com proteção de borracha clorada. Estes resultados confirmam a proteção química oferecida pelos revestimentos em relação ao concreto sem proteção, uma vez que este concreto apresentou rugosidade bem mais elevada, como pode ser constatado pela análise dos parâmetros de amplitude. Por outro lado, observa-se também que a proteção de borracha clorada apresentou menor variação no seu perfil de rugosidade, indicando que este revestimento foi mais eficiente.

Pode-se verificar também com relação ao parâmetro Ssk, que diz respeito à simetria da curva de distribuição das amplitudes do perfil, que antes do ataque químico os corpos de provas, com ou sem proteção, geraram valores negativos, o que implica em perfis topográficos com uma quantidade de material próxima à superfície (tipo platô) e com uma frequência maior de amplitudes referentes à vales. Após o ataque químico, este parâmetro tendeu a zero, para todos os corpos de prova estudados, o

que significa que a curva de distribuição de amplitudes tendeu à curva normal (gaussiana) o que implica em uma mudança de perfil.

Por outro lado, o parâmetro  $Sku$  apresentou valores sempre muito maiores que 3, e mesmo após ataque químico apresentou valores superiores a 3. Isto implica uma concentração de amplitudes em torno da média maior que o esperado para uma distribuição gaussiana, o que representa um perfil muito homogêneo em termos de rugosidade (porém com alta rugosidade) após o ataque químico, uma vez que reúne  $Ssk$  igual a zero e  $Sku > 3$ .

### Comparação do concreto SEM PROTEÇÃO antes e após ataque 7 dias

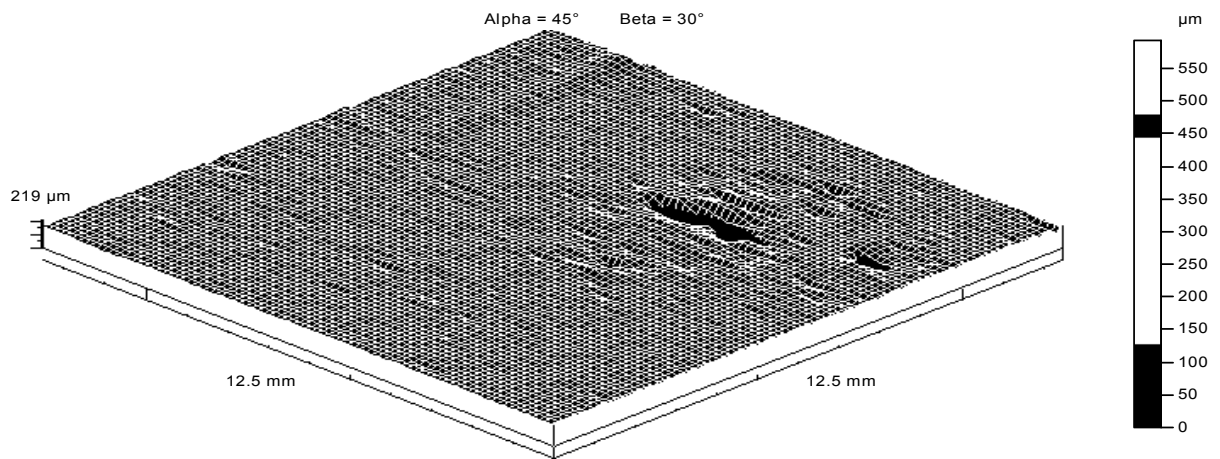


Figura 1. Perfil de rugosidade do concreto sem proteção antes do ataque.

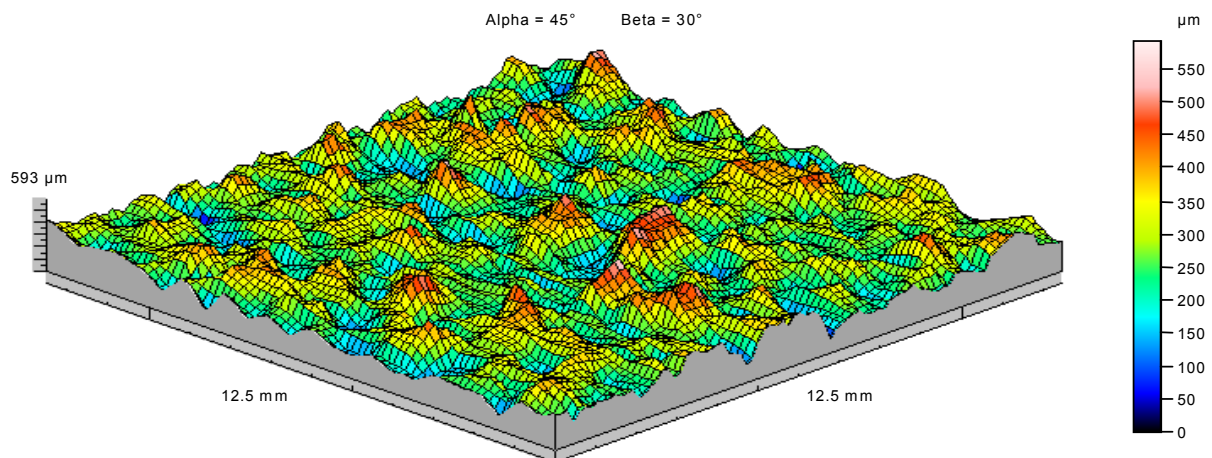


Figura 2. Perfil de rugosidade do concreto sem proteção depois do ataque.

## Comparação de concreto SEM e COM PROTEÇÃO DE BORRACHA CLORADA

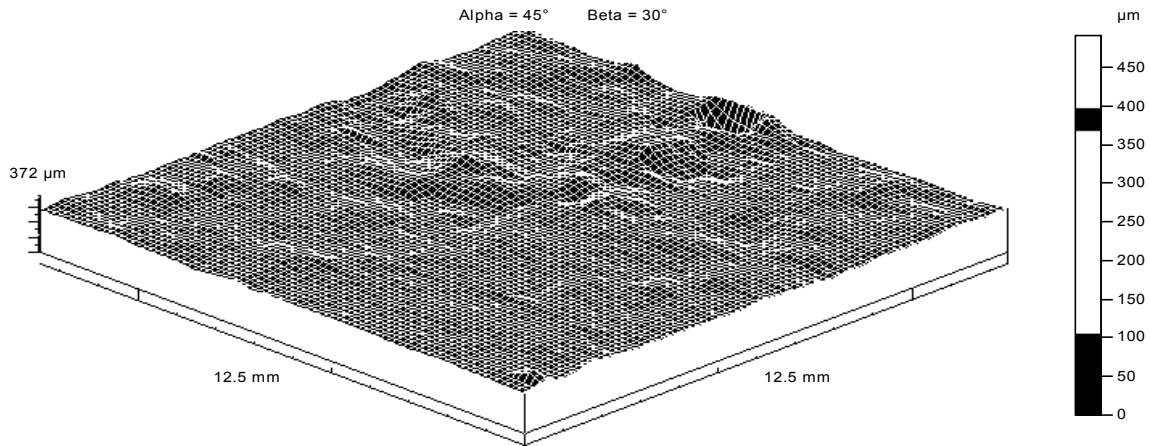


Figura 3. Perfil de rugosidade do concreto com proteção de borracha clorada antes do ataque

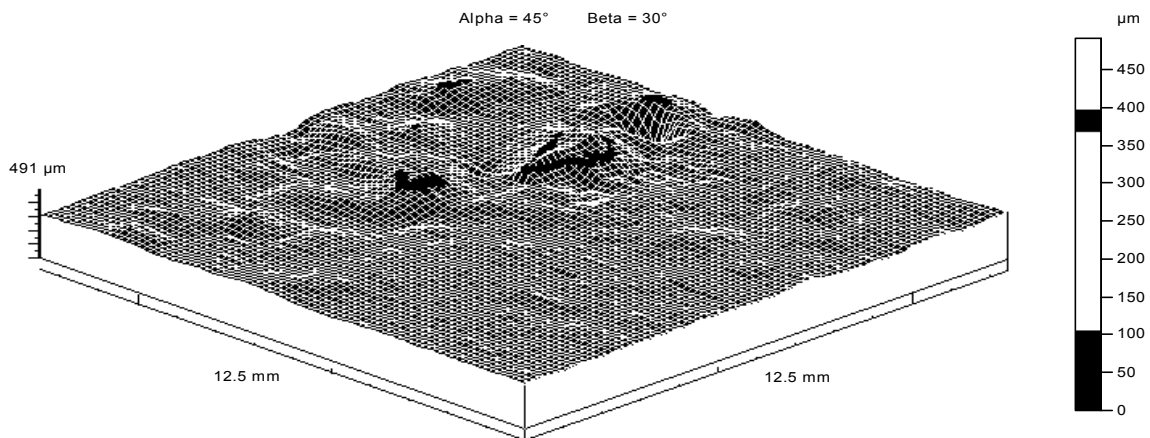


Figura 4. Perfil de rugosidade do concreto com proteção de borracha clorada após ataque.

## Comparação do concreto SEM e COM PROTEÇÃO DE ALCATRÃO

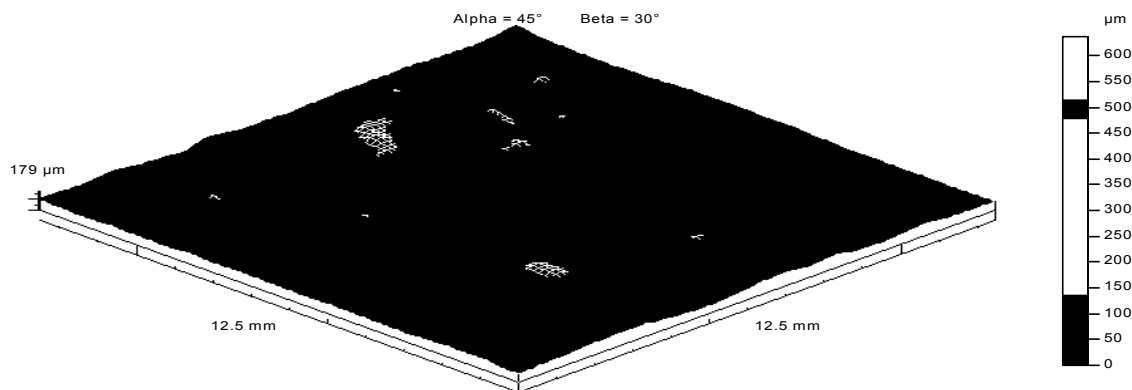
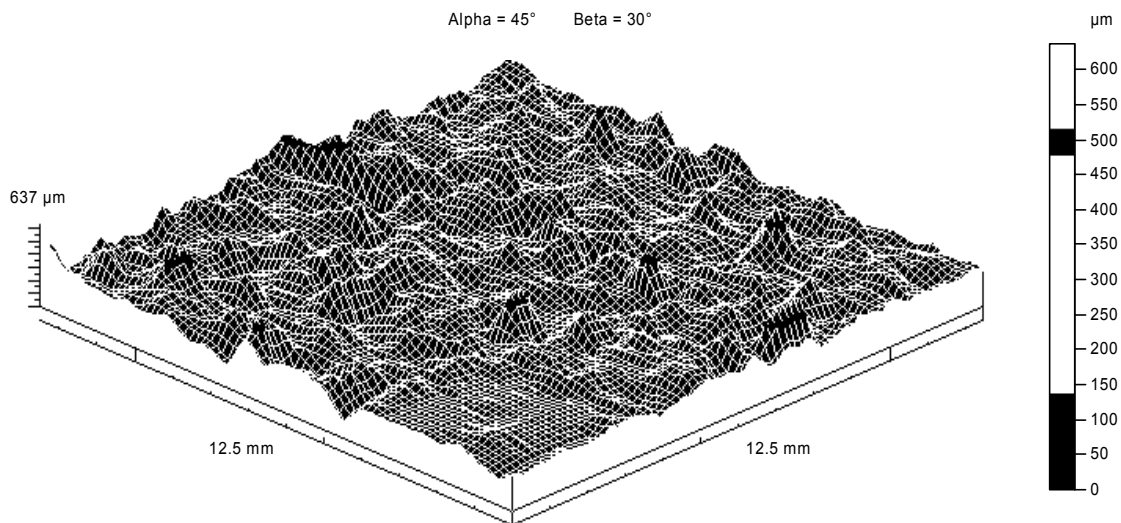


Figura 5. Perfil de rugosidade do concreto com proteção de alcatrão antes do ataque.



**Figura 6.** Perfil de rugosidade do concreto com proteção de alcatrão após ataque.

Os parâmetros obtidos nas superfícies dos concretos antes e após aos ataques, estão nas tabelas a seguir.

### Comparação do concreto sem proteção antes e após ataque

**Tabela 1.** Parâmetro do perfil de rugosidade do concreto sem proteção.

Parâmetro	Concreto antes do ataque	Concreto após ataque	Delta = $\frac{ Inicial - Final }{Inicial} \times 100$
Sa (μm)	4.81	59.1	1128,7
Sq (μm)	9.54	75	686,2
St (μm)	219	593	170,8
Sz (μm)	168	567	237,5
Ssk	-4.1	0.234	105,7
Sku	45.3	3.21	92,9
Sk(μm)	9.43	150	1490,7
Spk(μm)	12.5	66.4	431,2
Svk(μm)	18.9	59.8	216,4
Sbi*	0.556	0.529	4,9
Sci*	0.933	1.42	52,2
Svi*	0.168	0.128	23,8

\* Perfil original

## Comparação de concreto SEM e COM PROTEÇÃO DE BORRACHA CLORADA

**Tabela 2.** Parâmetro do perfil de rugosidade do concreto com proteção de borracha clorada.

Parâmetro	Concreto sem proteção antes do ataque)	Concreto com proteção antes do ataque	Concreto com proteção após ataque	Delta = $\frac{ Inicial - Final }{Inicial} \times 100$
Sa (µm)	15.8	12.3	15.1	22,8
Sq (µm)	23	18.5	24.1	30,3
St (µm)	397	372	491	32,0
Sz (µm)	272	148	268	81,1
Ssk	-0.888	-2.35	-0.697	70,3
Sku	12.4	28.2	19.4	31,2
Sk(µm)	29.1	19.4	21.4	10,3
Spk(µm)	27.6	14.4	19.7	36,8
Svk(µm)	28.9	11.5	19.9	73,0
Sbi*	0.727	0.376	0.421	12,0
Sci*	1.54	1.39	1.54	10,8
Svi*	0.125	0.162	0.134	17,3

\* Perfil original

## Comparação do concreto SEM e COM PROTEÇÃO DE ALCATRÃO

**Tabela 3.** Parâmetro do perfil de rugosidade do concreto com proteção de alcatrão.

Parâmetro	Concreto sem proteção antes do ataque	Concreto com proteção antes do ataque	Concreto com proteção após ataque 7 dias	Delta = $\frac{ Inicial - Final }{Inicial} \times 100$
Sa (µm)	12.8	11.5	46.3	302,6
Sq (µm)	17.5	15.6	61.7	295,5
St (µm)	235	179	637	255,9
Sz (µm)	167	140	537	283,6
Ssk	1.16	0.718	0.58	19,2
Sku	6.55	5.08	4.73	6,9
Sk(µm)	20.4	13.5	107	692,6
Spk(µm)	19.7	18.2	66.1	263,2
Svk(µm)	12.4	12.2	50.9	317,2
Sbi*	0.45	0.775	0.435	43,9
Sci*	1.69	1.44	1.68	16,7
Svi*	0.0963	0.176	0.111	36,9

\* Perfil original



## CONCLUSÕES

O trabalho permite concluir que, apesar da heterogeneidade do material em estudo, foi possível avaliar, através da técnica de perfilometria, a superfície do concreto de alta performance e a influência das camadas protetoras sobre esse concreto, visando garantir a sua durabilidade.

No que se refere aos ataques químicos realizados, os parâmetros de amplitudes, Sa, Sq, St e Sz, permitem quantificar o aumento da rugosidade na superfície do concreto, assim como a influência benéfica da proteção, demonstrando que no concreto sem proteção as variações desses parâmetros são mais acentuadas que nos concretos com camadas protetoras.

Pode-se concluir ainda que as camadas protetoras avaliadas atuaram eficientemente, apresentando uma boa aderência ao concreto, sendo que a camada de borracha clorada foi mais eficiente na sua proteção, uma vez que a variação dos parâmetros de amplitude foi menor para o concreto com proteção de borracha clorada do que para o concreto com proteção de alcatrão.

Este trabalho confirma a importância do perfilômetro como uma ferramenta poderosa na avaliação da superfície do concreto no que se refere a simulações de meios agressivos e de camadas protetoras, que garantem a durabilidade do concreto, ampliando ainda mais a contribuição da Tribologia à Engenharia Civil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 MEHTA, P.K. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1994.
- 2 NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1982.
- 3 RIBEIRO, C. C.; SILVA, J.D.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.
- 4 AMARAL, E. M. F. Concreto de alta resistência, **Revista ABRACON**, ano II, nº4, p. 40-49, 1992.
- 5 AITCIN, P.C. The durability characteristics of high performance concrete: a review, **Cement & Concrete Composites** 25, P. 409-420, 2003.
- 6 HERVÉ, E.N. A nova engenharia do concreto. **Comunidade da construção**, 4p, 2000.
- 7 NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- 8 ALMUSALLAM, A.A.; KHAN, F.M.; DULAIJAN, S.U.; B.AL-AMOUDI, O.S. Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability. **Cement & Concrete Composites** 25, p.473-481, 2003.
- 9 MUMMERY, L. **Surface texture analysis, The Hand Book**. West Germany: Hommelwerke GmbH, 1992.
- 10 VEDACIT, Impermeabilizantes. **Manual técnico: Recuperação de estruturas**. 2003.

# TOPOGRAPHIC APPROACH OF SURFACE COATING IN CONCRETE DURABILITY

*Joana D. Silva*<sup>(2)</sup>  
*Carmen C Ribeiro*<sup>(3)</sup>  
*G. Cristina Godoy*<sup>(4)</sup>  
*J. K. Morais*<sup>(5)</sup>

## **Abstracts**

This paper reports the influence of surface coating in the durability of concrete under aggressive environment, using 3D topographic approach. High performance concrete specimens were produced, with a low water/cement ratio, low permeability and high durability. The concrete adopted was, then, protected with surface coating (chlorinated rubber and coal tar) and exposed to an acid aggressive environment ( $H_2SO_4$  a 2.5%). The performance of these protections was evaluated through surface profilometry, which produced topographic images and statistical data (surface parameters). This procedure allowed comparing the concrete surface textures, before and after chemical attack. The images of the surface textures and statistical amplitude parameters of the 3D topographic profiles of concrete were obtained with and without surface coating and before and after chemical attack. Through this procedure it was possible to evaluate the effectiveness of surface coatings applied to concrete submitted to chemical attack and, also, to determinate which of the analyzed surface coatings offers more protection. Based on the curve of material rate versus deepness along the profile values of supporting areas associated to amount of material and values of volumes of emptiness present in the surface profile were obtained. All the amplitude parameters increase significantly after chemical attack due to the increase of roughness and it was possible to conclude that the protection obtained with chlorinated rubber was more effective than that provided for the coal tar. The profilometry showed to be a powerful instrument in the study of the surface coating of concrete and can be very useful in the analysis of concrete durability.

**Key-words:** Concrete durability; Profilometry; Surface coating.