

QUANTUM: concreto ecoeficiente e de alto desempenho

ALESSANDRA LORENZETTI DE CASTRO - PROF.^a DR.^a - <https://orcid.org/0000-0002-7248-7327> (alcastro@sc.usp.br) – USP
GUILHERME CÉSAR MARTINS DE MORAIS - ENG., **LUCAS ALVES MAGALHÃES** - ENG., **BERNARDO BRASIL DE AQUINO PORTO** - ENG. – Realmix Concreto
ERICH SILVA DOS SANTOS - ENG., **ROGÉRIO JOSÉ CÂNDIDO VENÂNCIO** - ENG. MESTRE – Chryso Saint-Gobain, GCP Brasil

RESUMO

BASEADO NOS CONCEITOS DE DISPERSÃO E EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS, O CONCRETO QUANTUM FOI DESENVOLVIDO COM O OBJETIVO DE ALCANÇAR DESEMPENHO ADEQUADO, COM DESENVOLVURA TECNOLÓGICA E MENOR PEGADA DE CARBONO, SENDO APLICÁVEL EM DIFERENTES CONDIÇÕES PARA EXECUÇÃO DE OBRAS DIVERSAS E, ASSIM, ATENDENDO ÀS NECESSIDADES DO MERCADO DA CONSTRUÇÃO CIVIL. CONTROLANDO A DISPERSÃO DAS PARTÍCULAS POR MEIO DA INCORPORAÇÃO DE ADITIVOS QUÍMICOS, APRESENTA CONSISTÊNCIA FLUIDA, FACILITANDO O LANÇAMENTO E ADENSAMENTO DO CONCRETO NAS FÔRMAS. DOSADO NA CENTRAL E COM MANUTENÇÃO DA CONSISTÊNCIA ATÉ A OBRA, ELIMINA A NECESSIDADE DE REDOSAGEM NO MOMENTO DE SUA APLICAÇÃO. NO ESTADO ENDURECIDO, APRESENTA DESEMPENHO MECÂNICO SATISFATÓRIO, COM CONSUMO DE CIMENTO REDUZIDO, CONTRIBUINDO PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO₂. DEVIDO À MAIOR EFICIÊNCIA NO USO DE LIGANTES, O CONCRETO SE TORNA ECOEFICIENTE. NO PRESENTE ARTIGO, SÃO APRESENTADAS AS PREMISSAS DO PROJETO, BEM COMO OS ENSAIOS PARA VALIDAÇÃO DOS TRAÇOS. DESSA FORMA, FOI POSSÍVEL OBTER CONCRETOS QUE ATENDEM ÀS EXIGÊNCIAS NORMATIVAS, PARA AS DIFERENTES CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL, COM MENOR IMPACTO AMBIENTAL.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO, ABATIMENTO, RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, DURABILIDADE, DESEMPENHO AMBIENTAL.

1. INTRODUÇÃO

Frente ao impacto ambiental do cimento Portland, matéria-prima essencial para produção do concreto, verifica-se uma pressão crescente para inovar e melhorar a sustentabilidade deste material, com os estudos indicando que o futuro está na otimização da dosagem com o aumento da

eficiência dos ligantes [1;2]. Diante desta preocupação, o uso de concretos sustentáveis e/ou ecoeficientes, que proporcionem redução do consumo de cimento e aprimoramento das propriedades mecânicas e durabilidade, é cada vez mais frequente.

Em linhas gerais, um concreto sustentável e/ou ecoeficiente pode ser definido como o concreto produzido utilizando materiais alternativos ou resíduos reciclados, a fim de reduzir o consumo de energia e de recursos naturais, e o impacto ambiental. Esse conceito integra questões ambientais ao material com relação ao fornecimento de matérias-primas, dosagem, projeto estrutural, construção e manutenção das estruturas de concreto. Esse concreto especial oferece inúmeros benefícios ambientais, técnicos e econômicos, como melhor trabalhabilidade e bombeabilidade, alta resistência mecânica, permeabilidade reduzida e, assim, maior durabilidade. Essas características promovem uma construção mais rápida, redução dos custos da construção e de manutenção, e aumento da vida útil das estruturas de concreto [3]. Além disso, promove o uso sustentável e inovador de resíduos e materiais alternativos não convencionais no concreto [4]. Assim, observa-se uma crescente demanda por esses concretos, estimulada pela busca por produtos de alta qualidade, pelo desejo de redução das emissões de gases de efeito estufa, pela necessidade de conservação de recursos naturais e por espaços limitados em aterros sanitários.

Neste contexto, visando reduzir o impacto ambiental do concreto aplicado na prática da construção civil, foi desenvolvido o QUANTUM, um concreto ecoeficiente e de alto desempenho. O presente artigo tem como objetivo apresentar este desenvolvimento tecnológico, indicando as premissas do projeto, a avaliação do

seu comportamento tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, e seu desempenho ambiental.

2. PREMISSAS DO PROJETO QUANTUM

Baseado nos conceitos de dispersão e empacotamento de partículas, o concreto QUANTUM foi desenvolvido no Centro de Tecnologia da Realmix Concreto, com o objetivo de alcançar desempenho adequado, com desenvoltura tecnológica e menor pegada de carbono, sendo aplicável em diferentes condições para a execução de obras diversas e, assim, atendendo às necessidades do mercado da construção civil.

Controlando a dispersão das partículas por meio da incorporação de aditivos químicos específicos, os concretos da linha QUANTUM apresentam consistência fluida, facilitando seu lançamento e adensamento nas fôrmas. Dosados na central com manutenção da consistência até a obra, eliminam a necessidade de redosagem no momento da aplicação. Com isso, obtém-se uma maior produtividade na etapa de concretagem e maior qualidade do elemento concretado, reduzindo defeitos na estrutura. Por meio do empacotamento de partículas, possuem uma composição otimizada, com consumo de cimento reduzido, para um desempenho mecânico satisfatório, contribuindo para a redução da emissão de CO₂. Além disso, reduzem efeitos adversos relacionados à ação térmica devido ao menor calor de hidratação, possibilitando a execução de elementos de fundação com número reduzido de camadas. Devido à maior eficiência no uso de ligantes, o concreto se torna ecoeficiente.

Sua linha de produtos contempla concretos com classe de resistência à compressão moderada e alta, podendo ser personalizado sob demandas específicas.

Com comportamento mecânico adequado às diversas demandas, auxilia a gestão de traços de concreto para a execução da estrutura, potencializando a redução de custos dos parâmetros do projeto, sem restrição para com a concepção arquitetônica e estrutural dos edifícios.

3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS CONCRETOS QUANTUM

Para a produção dos concretos, foram considerados os materiais disponíveis na região metropolitana de Goiânia/GO, onde estão localizadas as centrais da Realmix Concreto:

- ▶ cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos (CPV ARI RS);
- ▶ sílica ativa como adição mineral;
- ▶ areia natural quartzosa, com dimensão máxima característica de 2,36 mm;
- ▶ areia artificial, de origem granítica, com dimensão máxima característica de 4,75 mm;
- ▶ dois tipos de agregado graúdo, ambos de origem granítica, com dimensão máxima característica de 9,5 mm e 19 mm;
- ▶ água recuperada de processos de preparo do concreto e/ou água proveniente de poço artesiano ou da rede de abastecimento local, de acordo com a NBR 15900-1:2009 [5];

TABELA 1

TRAÇOS DE CONCRETO QUANTUM PRODUZIDOS. CONSUMO EM KG/M³

Materiais	C40	C50	C60
Cimento	310	361	407
Sílica	26	30	34
Agregado total	1860	1803	1751
Água	174	173	173
Aditivo RA1	2,48	2,88	3,26
Aditivo RA2	2,17	2,52	2,85

- ▶ aditivo tipo RA1 para redução da quantidade de água de amassamento e manutenção da trabalhabilidade;
- ▶ aditivo tipo RA2 para garantir a coesão e consistência adequadas.

Foi desenvolvido um estudo de dosagem específico para os traços de concreto QUANTUM, mantendo-se fixos os teores de argamassa e de água/materiais secos. Assim, para atingir a faixa de abatimento estabelecida - (220 ± 30) mm -, foram ajustados os teores dos aditivos químicos constituintes da mistura. A composição dos concretos é apresentada na Tabela 1.

Para a validação dos traços, foram avaliadas diferentes propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido,

tanto em laboratório quanto em obra, por meio das seguintes determinações: abatimento com manutenção ao longo do tempo; resistências à compressão e à tração na flexão; módulo de elasticidade; absorção de água por imersão e por capilaridade; índice de vazios; variação dimensional; resistências à carbonatação e à penetração de íons cloreto; resistividade elétrica; e desempenho ambiental.

3.1 Comportamento no estado fresco

O comportamento dos concretos no estado fresco foi avaliado por meio da determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, realizado no momento do recebimento do concreto em obra. Verificou-se que os concretos apresentaram valores de abatimento dentro do limite estabelecido previamente, sendo observada a manutenção da consistência durante o trajeto entre a central e a obra, sem necessidade de redosagem, mesmo sob condições ambientais adversas (elevada temperatura e baixa umidade). Na Figura 1, são apresentadas amostras de QUANTUM no ensaio de abatimento para recebimento do concreto (Figura 1.a) e durante o lançamento nas fôrmas (Figura 1.b). É possível observar que, no momento da aplicação,



A



B



C

FIGURA 1

(A) AMOSTRA DE CONCRETO NO ENSAIO DE ABATIMENTO E (B) DURANTE O LANÇAMENTO. (C) ANÁLISE VISUAL DA SUPERFÍCIE FRATURADA DE UM CORPO DE PROVA DE CONCRETO, APÓS ENSAIO MECÂNICO

TABELA 2

RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS

Propriedade	Idade (dias)	C40	C50	C60
Resistência à compressão (MPa)	1	21,6 ± 0,6	26,2 ± 1,1	35,1 ± 3,2
	3	29,1 ± 1,5	41,6 ± 2,3	50,6 ± 2,1
	7	34,6 ± 2,1	49,3 ± 3,4	57,1 ± 4,0
	28	46,0 ± 4,3	55,5 ± 5,2	66,3 ± 6,2
Resistência à tração na flexão (MPa)	3	2,83 ± 0,13	3,83 ± 0,05	4,65 ± 0,14
	7	3,42 ± 0,37	4,36 ± 0,35	5,02 ± 0,45
	28	5,14 ± 0,98	5,88 ± 1,05	6,42 ± 1,28
Módulo de elasticidade estático E_{ci} (GPa)	3	23,3 ± 3,0	26,8 ± 3,5	27,6 ± 3,7
	7	24,9 ± 3,1	28,7 ± 3,6	29,1 ± 3,6
	28	26,2 ± 2,9	30,4 ± 3,1	32,5 ± 4,1
Módulo de elasticidade dinâmico E_{cd} (GPa)	3	32,6 ± 2,5	35,0 ± 2,6	34,3 ± 2,5
	7	33,7 ± 2,3	36,3 ± 2,5	39,6 ± 2,8
	28	35,1 ± 2,0	38,0 ± 2,3	42,5 ± 3,0
Módulo de elasticidade dinâmico E_{cid} (GPa)	3	22,2 ± 2,2	24,3 ± 2,4	24,3 ± 2,5
	7	24,8 ± 2,4	26,9 ± 2,6	29,2 ± 2,8
	28	26,2 ± 1,7	29,4 ± 2,8	33,5 ± 2,9

Nota: E_{ci} = MÓDULO DE ELASTICIDADE TANGENTE INICIAL (ESTÁTICO); E_{cd} = MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO; E_{cid} = MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO (EQUIVALENTE AO TANGENTE INICIAL), ESTIMADO A PARTIR DE E_{cd} , DE ACORDO COM ANEXO B DA NBR 8522-1:2021.

o material apresentou-se coeso, sem evidência de segregação ou exsudação. Uma amostra da superfície fraturada de um corpo de prova, após o ensaio mecânico, é apresentada na Figura 1.c, verificando-se a homogeneidade do material também no estado endurecido.

3.2 Propriedades mecânicas

Os resultados dos ensaios mecânicos realizados nos concretos QUANTUM são apresentados resumidamente na Tabela 2. Os valores correspondem aos valores médios e ao desvio-padrão obtidos a partir de corpos de prova moldados para o controle tecnológico dos concretos. Verifica-se que as classes de resistência avaliadas apresentaram desempenho mecânico satisfatório, atendendo aos critérios de controle do processo de dosagem da central, conforme NBR 7212:2024 [6].

Ressalta-se que no caso do módulo de elasticidade, os resultados foram obtidos considerando agregados graúdos de origem granítica de menor densidade (2,77 kg/m³), disponíveis na região metropolitana de Goiânia. Com o uso de agregados graúdos graníticos de maior densidade (2,87 kg/m³), é possível aumentar em até 7 GPa o valor do módulo de elasticidade em relação aos valores apresentados na Tabela 2.

3.3 Propriedades físicas

Com relação às propriedades físicas dos concretos QUANTUM, os ensaios foram realizados para determinação do índice de vazios e absorção de água por

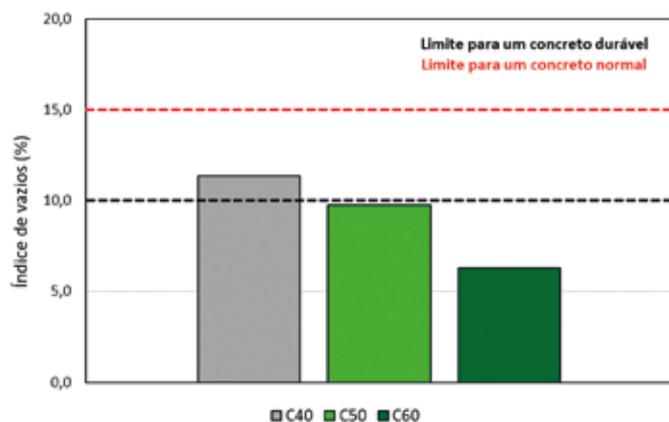
imersão. Os resultados obtidos aos 28 dias de idade são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

De acordo com a literatura, para um concreto ser durável, sua absorção de água por imersão deve ser, no máximo, de 4,2%, enquanto uma absorção máxima de 6,3% é especificada para um concreto normal; acima de 6,3%, o concreto é considerado deficiente. No caso do índice de vazios, os limites estabelecidos para um concreto ser considerado durável ou normal são, respectivamente, 10% e 15%; acima de 15%, o concreto é considerado deficiente. Assim, de acordo com os resultados obtidos, os traços de concreto QUANTUM podem ser classificados como normal ou durável.

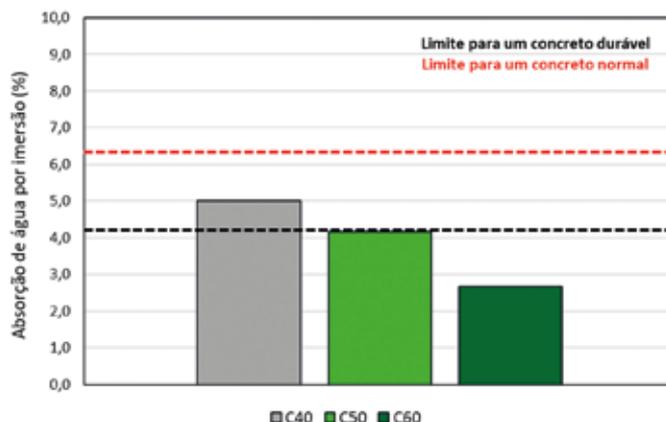
Além disso, na variação dimensional dos concretos, foi observada uma retração menor que 0,05% para todos os traços de concreto produzidos.

3.4 Durabilidade frente à ação da carbonatação e de íons cloreto

A durabilidade dos concretos QUANTUM foi avaliada por meio da determinação da resistência frente à ação da carbonatação e de íons cloreto. Os ensaios foram desenvolvidos no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, para avaliação

**FIGURA 2**

RESULTADOS DO ÍNDICE DE VAZIOS

**FIGURA 3**

RESULTADOS DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

TABELA 3

RESULTADOS DO ENSAIO DE CARBONATAÇÃO ACELERADA

Traço	Idade (dias)	Profundidade de carbonatação (mm)	Coefficiente de carbonatação Kacel (mm.ano ^{-0,5})	Classificação	Estimativa de vida útil (anos)*
C40	112	11,29	25,8	Moderada	74
C60	112	1,56	3,6	Excepcional	3.748

Nota: *ESTIMATIVA CONSIDERANDO AMBIENTE URBANO (CAA II) E ESPESSURA DO COBRIMENTO 30 MM.

das resistências à carbonatação e à penetração de íons cloreto, e da resistividade elétrica volumétrica.

Para determinação da resistência à carbonatação foi utilizada uma câmara de carbonatação acelerada, com concentração de CO₂ de (3,0 ± 0,5)%, temperatura de (27 ± 2)°C, e umidade relativa de (65 ± 5)%, de acordo com a ISO 1920-12:2015 [7]. A medida da profundidade de carbonatação foi feita com o auxílio de um paquímetro, após a aspersão da solução de fenolftaleína na superfície de ruptura do corpo de prova, sendo os valores obtidos apresentados na Tabela 3 e ilustrados na Figura 4. Considerando as orientações da Prática Recomendada IBRACON para ensaio de carbonatação do concreto [8], os concretos podem ser classificados como de resistência moderada a excepcional frente à ação da carbonatação, considerando ambientes rural, urbano ou industrial leve.

A maioria das pesquisas de avaliação da durabilidade de concretos é realizada considerando ensaios acelerados, uma vez que ensaios de envelhecimento natural demandam longos períodos de tempo para uma análise consistente. O mecanismo de degradação do concreto nos ensaios acelerados difere das condições reais de exposição. No entanto, se a degradação avança da mesma forma, mas em velocidades diferentes nos dois casos, é possível determinar uma correlação entre as taxas de degradação promovida pelo ensaio acelerado e natural. Neste contexto, cabe destacar a dificuldade de se definir esta correlação devido à falta de dados de desempenho em uso em longo prazo para determinar a taxa de degradação em condições reais [9]. Como um exemplo raro de pesquisas que avaliam a carbonatação natural do concreto no Brasil, destaca-se o estudo desenvolvido na UFG, junto com a Eletrobrás Furnas, em que foram produzidos corpos de prova de concreto submetidos à carbonatação natural e acelerada. Resultados parciais foram publicados compilando os valores da profundidade de carbonatação natural obtidos ao longo de 10 anos de exposição na cidade de Goiânia/GO e, então, correlacionando-os aos resultados do ensaio acelerado, sendo obtida uma correlação razoável entre os coeficientes de carbonatação natural e acelerado para esta região [8]. Assim, adotando as correlações obtidas

neste estudo, ciente de que o QUANTUM foi desenvolvido para ser utilizado na mesma região, é possível estimar a vida útil desses concretos frente à ação da carbonatação, sendo obtidos 74 anos para o C40 e 3.748 anos para o C60.

No caso da resistência à penetração de íons cloreto, a durabilidade dos traços QUANTUM foi avaliada por meio do ensaio de migração de cloreto no estado não estacionário prescrito na NT BUILD 492:2011 [10]. A medida da profundidade de penetração dos íons cloreto foi realizada pulverizando-se uma solução de nitrato de prata na superfície de ruptura do corpo de prova. Os resultados são apresentados na Tabela 4, sendo observados baixos valores tanto para o coeficiente de migração quanto para a profundidade de penetração de cloreto.

Como a corrosão das armaduras é um processo preponderantemente eletroquímico e que ocorre em meio aquoso, a determinação da resistência elétrica do concreto pode ser uma forma de controle e avaliação da proteção oferecida pelo material à armadura em elementos de concreto armado [11]. Além disso, a determinação da resistividade elétrica possibilita avaliar a facilidade com que os íons cloreto se movem através dos poros do concreto endurecido. A resistividade elétrica volumétrica dos traços QUANTUM foi determinada de acordo com a norma AASHTO TP 119:2015 [12], sendo os resultados obtidos apresentados na Tabela 4. Assim, os concretos podem ser classificados como de muito baixa permeabilidade

de íons cloreto e, conseqüentemente, com possibilidade muito baixa de penetração de íons cloreto, reduzindo drasticamente o risco de corrosão da armadura em estruturas de concreto expostas a ambientes com a presença deste agente agressivo.

3.5 Desempenho ambiental

Para avaliação do desempenho ambiental dos concretos QUANTUM, foram considerados o índice de intensidade de ligantes e o potencial de aquecimento global. O índice de intensidade de ligantes (IL) corresponde à quantidade de ligantes, por m³ de concreto, necessária para fornecer 1 MPa de resistência à compressão [13]. Desta forma, este índice possibilita uma comparação rápida e objetiva entre diferentes traços de concreto, uma vez que quanto maior IL, maior é a quantidade de ligantes necessária para se obter o mesmo desempenho mecânico e, portanto, menos ecoeficiente é o traço. O potencial de aquecimento global (GWP) foi analisado a partir do cálculo das emissões de CO_{2,eq} por m³ de concreto, utilizando a *Green Concrete LCA web tool*, de avaliação do ciclo de vida, desenvolvida na Universidade de Berkeley, Califórnia. Para o cálculo, os dados foram adequados ao escopo tecnológico do cenário brasileiro e consideradas informações de matriz energética, produção e transporte disponibilizadas por órgãos nacionais. Uma análise

**FIGURA 4**

CORPOS DE PROVA DE CONCRETO QUANTUM, APÓS ASPERSÃO DA SOLUÇÃO DE FENOLFTALEÍNA, PARA DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

TABELA 4

RESULTADOS DO ENSAIO DE MIGRAÇÃO DE ÍONS CLORETO E RESISTIVIDADE ELÉTRICA

Traço	Idade (dias)	Profundidade de penetração de cloretos (mm)	Coefficiente de migração de cloreto ($\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{g}$)	Resistividade elétrica volumétrica ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$)	Classificação*
C40	112	1,57	0,279	94,8	Muito baixo
C60	112	0,78	0,056	126,0	Muito baixo

NOTA: *CLASSIFICAÇÃO DE PERMEABILIDADE DE ÍON CLORETO DE ACORDO COM AASHTO TP 119:2015.

complementar foi realizada considerando a correlação do potencial de aquecimento global com a resistência à compressão média dos concretos.

Os resultados do desempenho ambiental dos concretos QUANTUM são apresentados na Tabela 5, considerando os valores da resistência à compressão aos 28 dias. Para fins de comparação, também são apresentados os resultados do desempenho ambiental dos concretos de linha da Realmix, de mesma classe de resistência à compressão e abatimento. Para os todos os parâmetros analisados (IL, GWP e GWP/MPa) verifica-se uma redução média de 23% no impacto ambiental quando considerado o QUANTUM. Além disso, verificou-se que o desempenho ambiental dos concretos melhora com o aumento da resistência mecânica, ou seja, quanto maior a resistência à compressão do concreto, menores o índice de intensidade de ligantes e o potencial de aquecimento global e, portanto, mais ecoeficiente e sustentável é o traço de concreto.

4. APLICAÇÕES

A linha QUANTUM contempla concretos com classe de resistência à compressão moderada e alta (C30 ao C70). Dentre as aplicações práticas realizadas, destacam-se:

- **Blocos sobre estacas:** utilizando gelo em substituição parcial à água de amassamento, é possível reduzir a temperatura de lançamento do concreto, reduzindo a liberação de calor e, assim, possibilitando a redução do número de camadas para sua execução;
- **Pilares:** dada a consistência fluida do concreto, o preenchimento das fôrmas é melhorado, reduzindo falhas de concretagem e melhorando o acabamento superficial;

- **Vigas e lajes:** o bombeamento é facilitado, especialmente para grandes alturas, resultando em uma maior facilidade no lançamento, adensamento e acabamento da superfície.

Como continuidade do desenvolvimento de novos traços para demandas particulares, a linha QUANTUM conta também com traços específicos para a execução de blocos, com uma redução de cerca de 20% no consumo de cimento em relação ao traço original QUANTUM, visando atingir a resistência característica à compressão especificada na idade de 91 dias, (QUANTUM GB); e para a execução de lajes e pisos polidos, em cujo traço é feito um ajuste no teor de aditivos químicos para o controle do tempo de pega (QUANTUM FLOOR).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no estudo realizado nos traços de concreto da linha QUANTUM, é possível identificar os seguintes pontos principais em relação aos concretos:

- **Durável:** os traços de concreto apresentaram características e qualidade que atendem às exigências de durabilidade prescritas na NBR 6118:2023 [14] e NBR 12655:2022 [15], para as diferentes classes de agressividade ambiental;
- **Mais sustentável:** com a redução de

até 30% no consumo de cimento, em relação aos traços de linha de mesma classe de resistência à compressão e abatimento, foi possível uma redução das emissões de CO_2 , diminuindo a pegada de carbono dos concretos. Além disso, obteve-se uma maior eficácia no uso de ligantes, resultando em misturas ecoeficientes;

- **Mais prático:** constituído de um menor consumo de cimento, há uma redução do calor de hidratação e, conseqüentemente, da liberação de calor pelo concreto durante a pega e o endurecimento, permitindo a execução de elementos de grande volume com número reduzido de camadas ou, ainda, reduzindo o intervalo de execução entre sucessivas camadas. A consistência fluida do concreto permitiu uma maior facilidade de lançamento e adensamento do concreto nas fôrmas;

- **Mais econômico:** com a otimização do processo de produção, é possível reduzir os custos de execução e ciclos de concretagem. Por ser dosado na central, com manutenção da consistência fluida até a obra, reduziu as etapas de recebimento do concreto no estado fresco e o período dos caminhões em obra, aumentando a produtividade tanto para a obra quanto para a concreteira.

Assim, os concretos da linha QUANTUM se mostram como materiais importantes para a descarbonização da construção civil vinculada à tecnologia do concreto. Esse benefício pode ser considerado especialmente em construções que buscam a certificação ambiental, uma vez que um concreto de reduzido impacto ambiental pode contribuir para com a pontuação vinculada aos materiais de construção constituintes de um empreendimento. ☺

TABELA 5

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DOS CONCRETOS

Concreto	C40	C50	C60	C40	C50	C60
	Traços de concreto de linha			Traços de concreto QUANTUM		
Parâmetro						
Cimento (kg/m^3)	425	510	560	310	361	407
Sílica (kg/m^3)	34	41	56	26	30	34
Ligante total (kg/m^3)	459	551	616	336	391	441
IL ($\text{kg}/\text{m}^3/\text{MPa}$)	9,02	9,58	8,85	7,30	7,05	6,65
GWP ($\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^3$)	405	484	557	322	369	412
GWP ($\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^3/\text{MPa}$)	8,90	8,82	8,58	7,00	6,67	6,22

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FLATT, R. J.; ROUSSEL, N.; CHEESEMAN, C. R. Concrete: An eco-material that needs to be improved. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 32, p. 2787-2798, 2012.
- [2] GRAZIA, M. T. *et al.* Investigation of the use of continuous particle packing models (PPMs) on the fresh and hardened properties of low-cement concrete (LCC) systems. *Construction and Building Materials*, v.195, p.524-536, 2019.
- [3] LIEW, K. M.; SOJOBI, A. O.; ZHANG, L. W. Green concrete: prospects and challenges. *Construction and Building Materials*, v.156, p. 1063-1095, 2017.
- [4] LOTHENBACH, B.; SCRIVENER, K.; HOOTON, R. D. Supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, v.41, p. 1244-1256, 2011.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto - Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 11 p.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7212: Concreto dosado em central - Preparo, fornecimento e controle. Rio de Janeiro, 2024. 25 p.
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 1920-12: Testing of concrete - Part 12: determination of the carbonation resistance of concrete - Accelerated carbonation method. Switzerland, 2015. 12 p.
- [8] RIBEIRO, D. V. *et al.* Prática recomendada IBRACON: procedimentos de ensaio de carbonatação acelerada (corpos de prova) e natural (testemunhos) do concreto. São Paulo: IBRACON, 2021. 39 p.
- [9] MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: ISAIA, G. C. *et al.* (Ed.) *Concreto: ciência e tecnologia*. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2022. p. 857-896.
- [10] NORDTEST. NT Build 492: Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. Finland, 1999. 8 p.
- [11] LIMA, P. R. L. *et al.* Prática recomendada IBRACON: procedimento de determinação da resistividade elétrica em corpos de prova e testemunhos de concreto. São Paulo: IBRACON, 2021. 40 p.
- [12] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). AASHTO TP 119: Provisional standard method of test for electrical resistivity of a concrete cylinder tested in a uniaxial resistance test. Washington, 2015. 17 p.
- [13] DAMINELLI, B. L. *et al.* Measuring the eco-efficiency of cement use. *Cement & Concrete Composites*, v.32, p. 555-562, 2010.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023. 242 p.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2022. 22 p.

KIT de PRÁTICAS RECOMENDADAS sobre ENSAIOS de DURABILIDADE das ESTRUTURAS de CONCRETO

O conjunto de **Práticas Recomendadas Sobre os Ensaios de Durabilidade das Estruturas de Concreto** é fruto do trabalho do **Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702 Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto**.



PROMOÇÃO: Kit com 5 Práticas + Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado **SÓCIOS:** R\$ 300,00 | **NÃO SÓCIOS:** R\$ 550,00

Patrocínio



Adquira o seu na
Loja Virtual
do IBRACON:

<http://lojaibracon.org.br>