

## **Utilização de betão auto-compactável (BAC) - Uma análise de viabilidade económica**



**Pedro M. Silva<sup>1</sup>**



**Jorge C. Brito<sup>2</sup>**



**João B. Costa<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

O presente artigo tem como objectivo levar a cabo uma análise económica da utilização de betão auto-compactável (BAC) na construção de edifícios e que não se restrinja à simples quantificação dos custos directos relativos tanto à matéria-prima e produção como à quantificação de mão-de-obra a associar à tarefa específica de colocação em obra de BAC.

Desse modo, para além do referido, é feita uma análise comparativa entre BAC's produzidos utilizando dois métodos de cálculo de amassaduras propostos por dois investigadores nacionais em trabalhos anteriores e betões convencionais (BC) de comportamento considerado equivalente. São igualmente abordados os benefícios indirectos da utilização do BAC, que são claramente mais difíceis de traduzir em termos económicos quando comparados com os benefícios directos.

Assim, entende-se no presente trabalho que a utilização de BAC na indústria da construção civil não tem exclusivamente impacte nos referidos custos directos mas também a outros níveis e de um modo não menos importante.

### **PALAVRAS-CHAVE**

betão auto-compactável (BAC), viabilidade económica, custos directos, custos indirectos.

<sup>1</sup> ISEL, Departamento de Engenharia Civil, 1959-007, Lisboa, Portugal. silvapm@dec.isel.ipl.pt

<sup>2</sup> IST, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, 1049-001 Lisboa, Portugal. jb@civil.ist.utl.pt

<sup>3</sup> ISEL, Departamento de Engenharia Civil, 1959-007, Lisboa, Portugal. jbarrento@dec.isel.ipl.pt

## **1. INTRODUÇÃO**

Apresenta-se, neste artigo, uma parte do trabalho desenvolvido na dissertação de mestrado do primeiro autor [1], com o título “*Métodos de estudo da composição de betão auto-compactável (BAC) - Verificação da sua aplicabilidade técnico-económica*”.

No que diz respeito aos métodos de composição de amassaduras para BAC, existem já várias propostas das mais simples às mais complexas. Têm-se desenvolvido, nomeadamente em Portugal, alguns trabalhos de investigação nessa área, sendo de destacar os de Ferreira [2] e Nepomuceno [3].

Os dois trabalhos propõem metodologias de cálculo de amassaduras tendo por base o método proposto por *Okamura et al* [4] e pela *JSCE* [5]. No caso do primeiro, recorre-se também ao método de *Faury* através da proposta de uma curva de referência para BAC e da adequação dos parâmetros usados correntemente no método das curvas de referência. No segundo, introduzem-se novos parâmetros (relativamente ao método proposto por *Okamura et al* e pela *JSCE*) que melhor se adequam ao controlo da resistência à compressão do BAC.

No referido trabalho, foram realizadas amassaduras experimentais através dos dois métodos. O estudo incidiu na produção de betões em três resistências mecânicas “alvo” (40, 55 e 70 MPa) e avaliou concretamente a consistência pretendida para um BAC, a resistência mecânica “alvo” e, por último, realizou uma análise económica dos betões produzidos.

Nos subcapítulos seguintes, apresentam-se, de um modo genérico, as diferenças entre os custos mencionados bem como um levantamento dos custos directos (matéria-prima; produção e colocação em obra), tanto dos betões produzidos no referido trabalho como de betões convencionais de comportamento considerado equivalente e a respectiva análise comparativa dos mesmos.

## **2. ANÁLISE QUALITATIVA DE CUSTOS**

Os custos relativos à utilização de BAC podem ser basicamente divididos em duas parcelas:

- custos directos;
- custos indirectos.

Na parcela de custos directos, podem-se incluir os relativos à matéria-prima, à produção em central e ao processo de colocação nos moldes (betonagem). Já nos custos indirectos podem ser considerados, por exemplo, os de manutenção / reparação da estrutura na fase de utilização, os devidos a uma maior durabilidade associada a uma maior compacidade do betão, os relativos à melhoria das condições tanto de trabalho como do meio ambiente na obra e no meio circundante à mesma, entre outros.

Os custos directos são relativamente fáceis de quantificar e desse modo é feito o levantamento, análise e comparação dos mesmos nos pontos seguintes. Já no que concerne aos custos indirectos, não é fácil quantificar em termos económicos o seu impacto com a utilização de BAC.

Por outras palavras, a dificuldade em contabilizar os custos totais da utilização do BAC não está tanto no que se refere ao preço de produção e colocação do betão em obra que, por exemplo, numa central não é difícil, mas sim em ir mais além e procurar contabilizar todas as variações dos custos devidas à utilização de um BAC, para além do valor do material, ou seja, o seu impacto nos custos da fase de exploração do empreendimento. Pode afirmar-se que cada caso é um caso e ter-se-á que ter em conta cada obra, cada dono de obra e cada empreiteiro.

Para além das menores diferenças em termos de alguns custos directos, começa hoje a perceber-se que à utilização do BAC se terá que associar a melhoria na qualidade das condições e do ambiente de trabalho em obra, passando pela obtenção de um melhor produto final, sendo possível obter uma

efectiva redução no custo global da obra. Para tal, é necessário entender-se a introdução do BAC no processo de construção como um conjunto de alterações ao próprio processo construtivo, desde a preparação da obra, passando pela escolha de materiais e da mão-de-obra até à qualidade do produto final.

O desenvolvimento já verificado e as inúmeras aplicações de BAC fazem com que as diferenças de custos totais encontradas há alguns anos entre o betão convencional e um BAC com a mesma classe de resistência estejam longe dos 20 a 40% inicialmente observados e ainda hoje muito presentes, apesar de erradamente, na ideia de muitos dos intervenientes na indústria da construção [6].

Por outro lado, os elementos disponíveis na literatura consultada apontam para uma análise mais em termos de custos directos do que para a avaliação dos indirectos. Em todo o caso, pode analisar-se o problema da quantificação dos custos finais em termos dos factores que podem provocar um aumento e dos que podem potenciar uma redução.

Os factores que, num BAC, podem provocar um aumento nos custos finais quando comparado com um betão convencional, são essencialmente:

- a maior exigência no estudo da composição (custo directo);
- a necessidade de grandes quantidades de pó (custo directo);
- a necessidade de utilização de superplastificantes em grandes quantidades (custo directo);
- o maior rigor no processo de fabrico e colocação em obra (custo directo).

Por outro lado, os factores que potenciam a redução dos custos finais são:

- a maior rapidez no processo de betonagem (custo directo);
- a redução do ruído na fase de betonagem (custo indirecto);
- a redução dos custos com equipamentos (custo indirecto);
- a maior qualidade e durabilidade do betão (custo indirecto);
- a redução da mão-de-obra (custo directo);
- a redução dos custos referentes a trabalhos de reparação / manutenção na fase de exploração (custo indirecto);
- a maior flexibilidade para os projectistas (por exemplo, elementos mais esbeltos) (custo indirecto).

A importância de todos estes factores varia necessariamente de projecto para projecto, o que aumenta a dificuldade em quantificar o reflexo que o BAC tem nos custos de um empreendimento.

No entanto, é possível afirmar-se que, em termos qualitativos, a utilização de um BAC num empreendimento se pode traduzir em custos ligeiramente superiores numa fase inicial o que poderá ser observado nos subcapítulos seguintes. Porém, os custos são progressivamente mais reduzidos ao passar-se para a fase de execução e de exploração, quando comparados com uma solução de betão convencional.

As principais diferenças nos custos directos entre um BAC e um betão convencional estão relacionadas essencialmente com a maior necessidade de argamassa, o que vai provocar um maior volume tanto de cimento como de adições. Para além disso, será ainda necessária uma maior quantidade de adjuvantes, nomeadamente de superplastificante, embora tal corresponda a um volume de agregado grosso sensivelmente inferior. No entanto, devido ao baixo custo deste último quando comparado com os restantes materiais, essa redução não é relevante face ao aumento do cimento, adições e adjuvantes, materiais com custo unitário francamente superior. Pode dizer-se que haverá sempre, em termos globais, um maior custo da matéria-prima para um BAC. Por outras palavras, a forma de rentabilizar a utilização de BAC está sempre relacionada com a eficiência de custos de colocação em obra e com a qualidade final do produto.

### 3. ANÁLISE QUANTITATIVA - COMPARAÇÃO DE CUSTOS DIRECTOS

Tal como referido, os custos directos de um determinado betão (auto-compactável ou não) podem ser subdivididos em três grandes parcelas:

- custos de matéria-prima;
- custos do processo de fabrico;
- custos associados ao processo de colocação em obra (betonagem).

A quantificação dos custos directos apresenta-se como uma tarefa mais simples quando comparada com os indirectos. É, no entanto, possível enumerar uma série de variáveis que condicionam, ainda assim, o cálculo dos referidos custos:

- diferenças nos custos dos agregados, as quais podem ser resultantes de diferentes processos de exploração ou devidas às distâncias de transporte de local para local;
- custos de transporte associados à matéria-prima em geral; é de referir, por exemplo, os custos de transporte das adições utilizadas neste trabalho; no caso das cinzas volantes, o seu custo global poderia variar (em função do transporte) entre 21 e 26 €/ton. e para o fíler calcário verificaram-se variações entre 6 e 8 €/saco de 50 kg;
- exigências em termos de trabalhabilidade / tipo de aplicação podem igualmente provocar grandes variações no preço final do betão;
- no que respeita à variável talvez mais importante, os custos referentes ao processo de colocação em obra, os mesmos estão intimamente relacionados com o *know-how* de cada empresa e com a sua capacidade e dimensão, existindo algumas variações em termos de orçamentação dos referidos trabalhos.

Desse modo, os valores aqui apresentados reflectem uma realidade específica da zona onde o estudo se realiza, dos materiais utilizados e das empresas consultadas em termos de orçamentação. Os referidos valores deverão ser encarados como úteis no que concerne à comparação entre os betões produzidos e os convencionais, não se devendo extrapolar os mesmos para toda e qualquer situação por mais análoga que seja sem as devidas adaptações. Como referido, terá que se ter sempre em conta cada obra, cada dono de obra e cada empreiteiro.

Nesse sentido, calcularam-se os custos (matéria-prima, produção e colocação em obra) referentes aos BAC produzidos bem como a três BC de desempenho equivalente. As quantidades de amassadura apresentadas para os BC foram determinadas utilizando as propriedades dos materiais do presente trabalho e recorrendo a um processo de cálculo corrente em Portugal, nomeadamente a quantificação das quantidades de ligante pela expressão de *Feret* e dos agregados pelo método de *Faury*. Considerou-se uma percentagem de substituição de cimento por adições de 30% e uma quantidade de adjuvante de aproximadamente 1% do volume de ligante. O objectivo foi calcular as quantidades de amassadura de três BC com resistências mecânicas de 40, 55 e 70 MPa (tal como os BAC do presente estudo) e uma classe de consistência  $S_5$  de acordo com a NP EN 206-1:2005 (as referidas quantidades de amassadura são apresentadas no subcapítulo seguinte).

#### 3.1 Custos directos de matéria-prima

Pretende-se essencialmente, neste subcapítulo, comparar os custos directos em termos de consumo de matéria-prima dos betões produzidos pelos dois métodos em estudo com os dos BC.

Com os custos unitários e com as quantidades calculadas para cada um dos betões em análise, determinaram-se os custos por m<sup>3</sup>. Apresentam-se nos quadros 1, 2 e 3 os custos unitários e os parcelares, bem como os totais, de acordo com as três resistências mecânicas “alvo” (40, 55 e 70 MPa). Da análise dos referidos quadros, é possível observar que o BAC relativo ao método de Nepomuceno acarreta sempre um custo de matéria-prima superior ao de Ferreira. Essa diferença não se mantém constante, variando de acordo as resistências mecânicas “alvo” pretendidas (os BAC de Nepomuceno são mais caros 27,40, 7,80 e 6,40% respectivamente para 40, 55 e 70 MPa). Verifica-se

ainda que a diferença de custos de matéria-prima diminui substancialmente com o aumento da resistência requerida.

Quadro 1. Custos por m<sup>3</sup> para a resistência “alvo” de 40 MPa

Resistência mecânica "alvo" 40 MPa		método de Ferreira		método de Nepomuceno		betão convencional	
Matéria-prima	custo unitário €/kg	massa kg/m <sup>3</sup>	custo €/m <sup>3</sup>	massa kg/m <sup>3</sup>	custo €/m <sup>3</sup>	massa kg/m <sup>3</sup>	Custo €/m <sup>3</sup>
Cimento tipo II/B-L 32,5N	0,06800	---	---	331,29	22,53	---	---
Cimento tipo I-42,5R	0,08600	301,13	25,90	---	---	240,00	20,64
Cinzas volantes	0,01650	129,06	2,13	---	---	100,00	1,65
Filér calcário	0,04000	---	---	296,41	11,86	---	---
Adjuvante tipo Viscocrete 3000	2,70000	6,45	17,42	10,04	27,12	3,60	9,72
Areia fina (D <sub>max</sub> =1,19 mm)	0,00670	410,25	2,75	243,79	1,63	403,00	2,70
Areia grossa (D <sub>max</sub> =6,35 mm)	0,00685	338,01	2,32	557,96	3,82	606,00	4,15
Brita 1 (D <sub>max</sub> =9,52 mm)	0,00650	371,39	2,41	455,78	2,96	233,00	1,51
Brita 2 (D <sub>max</sub> =19,10 mm)	0,00650	543,23	3,53	305,55	1,99	543,00	3,53
TOTAL:			56,45		71,90		43,91

Quadro 2. Custos por m<sup>3</sup> para a resistência “alvo” de 55 MPa

Resistência mecânica "alvo" 55 MPa		método de Ferreira		método de Nepomuceno		Betão convencional	
Matéria-prima	custo unitário €/kg	massa kg/m <sup>3</sup>	custo €/m <sup>3</sup>	Massa kg/m <sup>3</sup>	Custo €/m <sup>3</sup>	Massa kg/m <sup>3</sup>	Custo €/m <sup>3</sup>
Cimento tipo II/B-L 32,5N	0,06800	---	---	454,78	30,92	---	---
Cimento tipo I-42,5R	0,08600	362,42	31,17	---	---	315,00	27,09
Cinzas volantes	0,01650	155,32	2,56	---	---	135,00	2,23
Filér calcário	0,04000	---	---	174,39	6,98	---	---
Adjuvante tipo Viscocrete 3000	2,70000	7,77	20,98	8,18	22,08	4,40	11,88
Areia fina (D <sub>max</sub> =1,19 mm)	0,00670	281,02	1,88	239,05	1,60	280,00	1,88
Areia grossa (D <sub>max</sub> =6,35 mm)	0,00685	367,52	2,52	547,10	3,75	629,00	4,31
Brita 1 (D <sub>max</sub> =9,52 mm)	0,00650	353,34	2,30	455,78	2,96	227,00	1,48
Brita 2 (D <sub>max</sub> =19,10 mm)	0,00650	581,43	3,78	305,55	1,99	544,00	3,54
TOTAL:			65,19		70,28		52,39

Quadro 3. Custos por m<sup>3</sup> para a resistência “alvo” de 70 MPa

Resistência mecânica "alvo" 70 MPa		método de Ferreira		método de Nepomuceno		Betão convencional	
Matéria-prima	custo unitário €/kg	Massa kg/m <sup>3</sup>	Custo €/m <sup>3</sup>	Massa kg/m <sup>3</sup>	Custo €/m <sup>3</sup>	Massa kg/m <sup>3</sup>	Custo €/m <sup>3</sup>
Cimento tipo II/B-L 32,5N	0,06800	---	---	---	---	---	---
Cimento tipo I-42,5R	0,08600	421,60	36,26	403,50	34,70	400,00	34,40
Cinzas volantes	0,01650	180,68	2,98	---	---	170,00	2,81
Filér calcário	0,04000	---	---	232,28	9,29	---	---
Adjuvante tipo Viscocrete 3000	2,70000	9,03	24,38	8,90	24,03	5,40	14,58
Areia fina (D <sub>max</sub> =1,19 mm)	0,00670	207,79	1,39	238,81	1,60	148,00	0,99
Areia grossa (D <sub>max</sub> =6,35 mm)	0,00685	378,50	2,59	546,54	3,74	653,00	4,47
Brita 1 (D <sub>max</sub> =9,52 mm)	0,00650	343,55	2,23	455,78	2,96	222,00	1,44
Brita 2 (D <sub>max</sub> =19,10 mm)	0,00650	575,78	3,74	305,55	1,99	544,00	3,54
TOTAL:			73,58		78,32		62,23

Relativamente aos custos dos BC, pode constatar-se que os mesmos aumentam de forma constante com a variação da resistência mecânica “alvo”. É também possível observar que as diferenças de custos dos BAC de Ferreira em relação aos BC variam na ordem de 28,60, 24,40 e 18,20%, respectivamente para 40, 55 e 70 MPa, enquanto que, em relação aos BAC de Nepomuceno, essa variação é da ordem de 63,70, 34,10 e 25,90%. Mais uma vez, é possível constatar que as diferenças de custos de matéria-prima diminuem com o aumento da resistência mecânica requerida.

A diferença negativa encontrada nos custos da matéria-prima das resistências mecânicas “alvo” de 40 e 55 MPa (respectivamente 71,90 e 70,28 €) do método de Nepomuceno são explicadas pela quantidade de adjuvante utilizada em ambas as amassaduras, nomeadamente 10 kg/m<sup>3</sup> na de 40MPa e 8,18 kg/m<sup>3</sup> na de 55MPa. A quantidade de adjuvante está directamente relacionada com o valor da razão  $S_p/p\%$  (razão percentual em massa entre as quantidades totais de superplastificante e de materiais finos na mistura) que foi acertada experimentalmente na fase de produção das argamassas. Observando a maior quantidade de adjuvante na amassadura de 40 MPa e tendo em conta os resultados dos ensaios de espalhamento, Funil-V e Caixa-L, respectivamente, é possível verificar que os mesmos são relativamente superiores quando comparados com os obtidos nas amassaduras de 55 MPa, nomeadamente:

- espalhamentos médios de 675 mm para 40 MPa e de 642 mm para 55 MPa;
- tempos médios no Funil-V de 13,87 segundos para 40 MPa e 13,59 segundos para 55 MPa;
- relação média de  $H_2/H_1$  de 86% para 40 MPa e 83% para 55 MPa.

Desse modo, pode-se concluir que, com o objectivo de otimizar as quantidades das misturas, não só em termos técnicos mas também em termos económicos, neste caso, a utilização de uma quantidade inferior de adjuvante para as amassaduras de 40 MPa, poderia ter-se mantido os valores da consistência ainda dentro dos parâmetros de referência e, em simultâneo, reduzir os custos de matéria-prima de modo a mantê-los coerentes com os dos restantes BAC produzidos.

As diferenças referidas podem ser visualizadas na Figura 1. Neste gráfico, pode observar-se o modo como os custos variam com a resistência mecânica para cada um dos betões em estudo.

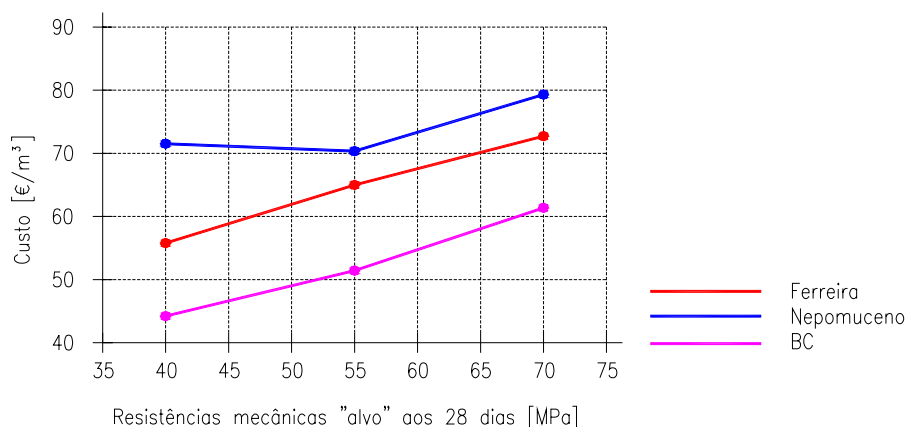


Figura 1. Relação entre a resistência mecânica aos 28 dias e os custos de matéria-prima

Como forma de perceber a influência dos diferentes componentes no custo final de cada um dos betões produzidos, apresenta-se, nos quadros 4, 5 e 6, o modo como cada um dos materiais (cimento, adições, adjuvante e agregado) se faz representar nos custos totais de matéria-prima.

Em termos globais, para os BAC é possível observar que a parcela dos custos com cimento e adições varia entre 50 e 60% do custo global, o adjuvante entre 30 e 40% e o agregado entre 10 a 20%. A parcela referente às adições, como seria de esperar, é superior no método de Nepomuceno. Para os BC, a parcela relativa ao cimento e às adições varia entre 50 e 60% do custo global. Já para o adjuvante, a referida variação situa-se entre 20 e 25% e, para o agregado, entre 15 e 25%.

Estão apresentadas as parcelas que mais contribuem para as diferenças encontradas entre os dois métodos em estudo e que são também as mais representativas nos custos totais, nomeadamente cimento, adições e adjuvante.

Quadro 4. Percentagem de custos dos vários componentes nos custos totais - 40 MPa

Resistência mecânica "alvo" 40 MPa						
Matéria-prima	método de Ferreira		método de Nepomuceno		Betão convencional	
	custo €/m <sup>3</sup>	% do custo total	Custo €/m <sup>3</sup>	% do custo total	Custo €/m <sup>3</sup>	% do custo total
cimento	25,90	45,88	22,53	31,32	20,64	47,01
adições	2,13	3,77	11,86	16,50	1,65	3,76
adjuvante	17,42	30,85	27,12	37,71	9,72	22,14
agregado	11,01	19,50	10,40	14,47	11,90	27,10

Quadro 5. Percentagem de custos dos vários componentes nos custos totais - 55 MPa

Resistência mecânica "alvo" 55 MPa						
Matéria-prima	método de Ferreira		método de Nepomuceno		Betão convencional	
	custo €/m <sup>3</sup>	% do custo total	Custo €/m <sup>3</sup>	% do custo total	Custo €/m <sup>3</sup>	% do custo total
cimento	31,17	47,81	30,92	43,99	27,09	51,70
adições	2,56	3,93	6,98	9,94	2,23	4,25
adjuvante	20,98	32,19	22,08	31,42	11,88	22,67
agregado	10,48	16,07	10,30	14,65	11,20	21,38

Quadro 6. Percentagem de custos dos vários componentes nos custos totais - 70 MPa

Resistência mecânica "alvo" 70 MPa						
Matéria-prima	método de Ferreira		método de Nepomuceno		Betão convencional	
	custo €/m <sup>3</sup>	% do custo total	Custo €/m <sup>3</sup>	% do custo total	Custo €/m <sup>3</sup>	% do custo total
cimento	36,26	49,27	34,70	44,31	34,40	55,28
adições	2,98	4,05	9,29	11,86	2,81	4,51
adjuvante	24,38	33,14	24,03	30,69	14,58	23,43
agregado	9,96	13,54	10,29	13,14	10,44	16,78

Pode-se ainda constatar que a maior necessidade de argamassa por parte do método de Nepomuceno representa o factor mais significativo para as diferenças observadas nos custos entre os dois métodos em estudo. É de salientar a diferença de custos das adições em ambos os métodos. No caso do método de Ferreira, utilizaram-se cinzas volantes com um custo por tonelada de 16,50 € enquanto que, no de Nepomuceno, o filer calcário apresenta um custo por tonelada de 40 €

Da análise dos resultados apresentados, pode-se observar que a diferença de custos entre os BAC e os BC se encontra mais na parcela relativa ao adjuvante e ao ligante do que no agregado. As diferenças de custos, em termos da quantidade de agregado, são ínfimas, quando comparadas com os restantes componentes.

É importante relembrar que as quantidades de amassaduras de BC aqui apresentadas pretendem dar resposta a uma exigência em termos de classe de consistência S<sub>5</sub>, o que representa, só por si, um incremento razoável em termos das quantidades, tanto de cimento e adições, como de adjuvante. Baixando-se a referida exigência para S<sub>4</sub> ou até mesmo para S<sub>3</sub> (betão de carácter mais corrente na construção, nomeadamente de edifícios), as diferenças em termos de matéria-prima poderiam ser ligeiramente superiores. Por outro lado, as quantidades de amassadura referentes aos BAC produzidos foram determinadas de modo a dar resposta às exigências de carácter técnico, não tendo havido a preocupação da sua optimização em termos económicos.

### 3.2 Custos directos de produção

Tal como referido, os custos directos, neste caso os de produção, podem variar substancialmente, dependendo de vários factores, nomeadamente se o BAC é produzido numa central para distribuição ou numa central montada em obra. Se for na obra, depende ainda se é o próprio empreiteiro a fornecer a central ou se esta é subcontratada e, talvez o mais importante, da experiência tanto dos responsáveis como dos técnicos operadores da central.

Desse modo, optou-se no presente trabalho por incluir, nos custos de produção, apenas os valores referentes às despesas em termos de equipamento (central de betão) e respectiva mão-de-obra (manobrador e servente). Não estão incluídos, nos valores apresentados, quaisquer custos de montagem / desmontagem de equipamentos, carga e descarga de matérias-primas, necessidade de mais tulas de armazenamento para os vários tipos de adições, entre outros.

Os valores apresentados no quadro 7 foram obtidos por consulta a três empresas (fornecedores de betão e empreiteiros de construção civil) de nível nacional e com larga experiência no ramo.

Quadro 7. Custos de produção de BAC e de BC

Custos de produção €/m <sup>3</sup>	BC	BAC
<b>Equipamento</b> (central de produção incluindo todos os custos associados)	1,59	1,59
<b>Mão-de-obra</b> (75% de servente e 25 % de manobrador)	11,13	11,13
<b>Total:</b>	<b>12,72</b>	<b>12,72</b>

Da análise do quadro, é possível constatar que ocorrem os mesmos custos de produção para ambos os tipos de betão (BC e BAC). Por indicação dos técnicos consultados, apesar de estes concordarem que, no caso dos BAC, é conveniente ter tempos de mistura superiores, não é significativo ter esses valores incluídos no custo de produção.

### 3.3 Custos directos de colocação em obra

Tal como referido, os custos em análise podem variar significativamente, nomeadamente em função do elemento a betonar e do tipo de obra, em termos da sua dimensão.

Os valores apresentados no quadro 8 para os custos de colocação do betão nos moldes representam a média dos custos obtidos nas três consultas levadas a cabo e que, por sua vez, se baseiam nos preços actualizados de 2007 das referidas empresas.

Quadro 8. Custos de colocação do betão

Custos de colocação €/m <sup>3</sup>	BC	BAC
<b>Elementos de fundação</b> (fundações directas incluindo vigas de fundação)	17,83	10,04
<b>Pilares</b> (elementos de dimensões correntes para edifícios considerando uma dificuldade de betonagem média)	25,79	12,87
<b>Paredes ou muros</b>	38,34	22,69
<b>Vigas e lintéis</b>	23,68	14,25
<b>Lajes maciças</b> (incluindo escadas e consolas)	19,82	11,16

Tal como esperado, pode observar-se que os custos de colocação de BAC são significativamente inferiores aos do BC de forma inversa ao que sucedeu com os custos de produção. As diferenças encontradas são o reflexo da não utilização do processo de compactação por vibração e do respectivo operador, bem como de uma redução no número de serventes afectos à tarefa de betonagem, variável em função do tipo de aplicação.

### 3.4 Custos directos totais

Com o auxílio dos valores apresentados nos subcapítulos anteriores, é, nesta fase, possível comparar os custos totais da aplicação dos BAC em estudo e dos BC de referência. Dessa forma, apresentam-se no quadro 9 os custos totais dos referidos betões, bem como a relação entre os mesmos.



Quadro 9. Comparação dos custos totais

Custos totais €/m <sup>3</sup> (matéria-prima + produção + betonagem)	Resistência "alvo" [MPa]	RF	MN	BC	RF/MN	RF/BC	MN/BC
<b>Elementos de fundação</b> (fundações directas incluindo vigas de fundação)	40	79,20	94,66	74,46	0,84	1,06	1,27
	55	87,94	93,03	82,94	0,95	1,06	1,12
	70	96,33	101,07	92,78	0,95	1,04	1,09
<b>Pilares</b> (elementos de dimensões correntes para edifícios considerando uma dificuldade de betonagem média)	40	82,03	97,49	82,42	0,84	1,00	1,18
	55	90,77	95,86	90,90	0,95	1,00	1,05
	70	99,16	103,90	100,74	0,95	0,98	1,03
<b>Paredes ou muros</b>	40	91,86	107,31	94,97	0,86	0,97	1,13
	55	100,59	105,69	103,45	0,95	0,97	1,02
	70	108,99	113,72	113,29	0,96	0,96	1,00
<b>Vigas e lintéis</b>	40	83,42	98,87	80,31	0,84	1,04	1,23
	55	92,15	97,25	88,79	0,95	1,04	1,10
	70	100,55	105,29	98,63	0,96	1,02	1,07
<b>Lajes maciças</b> (incluindo escadas e consolas)	40	80,33	95,79	76,45	0,84	1,05	1,25
	55	89,07	94,16	84,93	0,95	1,05	1,11
	70	97,46	102,20	94,77	0,95	1,03	1,08

Da análise do referido quadro, pode observar-se que, em termos de custos totais, os BAC de Ferreira são 5 a 10% mais baratos do que os de Nepomuceno. Comparando os custos do BAC de Ferreira com o BC, observa-se que, ao contrário do que sucedia com os custos da matéria-prima, neste caso as diferenças são inferiores, chegando mesmo a inverter-se para alguns tipos de aplicações, nomeadamente pilares, paredes e muros. No caso dos BAC de Nepomuceno, as referidas diferenças de custos diminuem na mesma ordem de grandeza mas mantêm-se, ainda assim, mais caros do que os BC.

Pode ainda observar-se que as diferenças de custos totais entre os BAC e os BC vão diminuindo com o aumento da resistência mecânica requerida independentemente do elemento a betonar. As diferenças referidas podem ser visualizadas na Figura 2. Pode, desse modo, observar-se a comparação entre os BAC de Ferreira e de Nepomuceno em função do tipo de elemento a betonar bem com a comparação entre cada um dos BAC e o BC de referência.

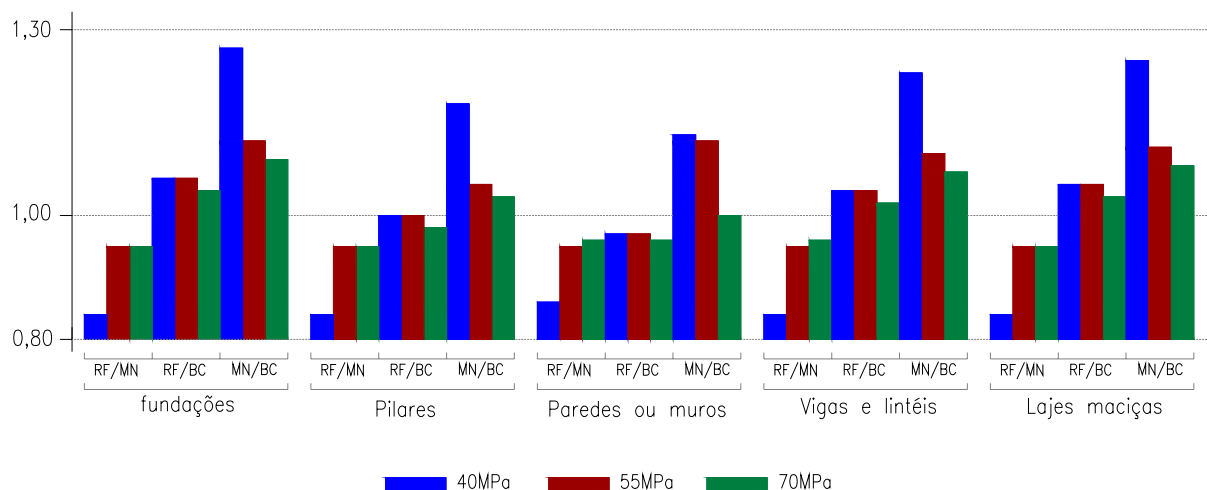


Figura 2. Comparação de custos: entre os BAC de Ferreira (RF) e de Nepomuceno (MN); entre os BAC de Ferreira (RF) e os BC; entre os BAC de Nepomuceno (MN) e os BC

Face ao exposto, e tendo em consideração que é ainda possível uma optimização, tanto nas quantidades de amassadura dos BAC, como no processo de construção, pode-se afirmar que as diferenças encontradas perspectivam um bom indicador em termos de custos, em relação à implementação deste material na indústria da construção.

#### **4. CONCLUSÕES**

Para uma real avaliação económica sobre o impacto da utilização de BAC, é necessário ter em conta todos os factores envolvidos, como a produção, a matéria-prima, os equipamentos, o pessoal necessário, a colocação em obra, a durabilidade, bem como os custos de manutenção e reparação, entre outros. Nesse sentido e face às inúmeras variáveis em jogo, a cada projecto correspondente um impacto económico da utilização de BAC que deverá ser analisado em termos específicos e caso a caso.

Porém, torna-se cada vez mais evidente para os diversos intervenientes na indústria da construção que o aumento de custos relativo à matéria-prima devido à utilização dos BAC pode ser facilmente compensado pelos ganhos tanto em termos de produtividade como de diminuição dos custos de manutenção e reparação. Como referido, há ainda outros benefícios que, embora mais difíceis de contabilizar, não são menos importantes, tais como a melhoria nas condições de trabalho, a diminuição dos impactos negativos na zona circundante pela eliminação do processo de compactação por vibração, pelo que são cada vez mais tomados em consideração pelas empresas, progressivamente preocupadas e sensibilizadas para os referidos problemas.

Em termos de balanço final, pode afirmar-se que, quando implementada correctamente, a utilização de BAC pode representar uma diminuição significativa dos custos globais associados, pelas reduções obtidas quer na sua fase de produção quer na sua utilização (seja como material na construção ou como produto final) com evidentes efeitos benéficos nas margens de lucro finais.

#### **REFERÊNCIAS**

- [1] SILVA, PEDRO M. SOARES - “*Métodos de estudo da composição de betão auto-compactável (BAC) – Verificação da sua aplicabilidade técnico-económica*”; dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Construção no Instituto Superior Técnico, Novembro de 2007.
- [2] FERREIRA, RUI MANUEL DOS SANTOS - “*Betão auto-compactável: metodologia de composição*”; dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Materiais de Construção na Universidade do Minho, Guimarães, Julho de 2001.
- [3] NEPOMUCENO, MIGUEL COSTA SANTOS - “*Metodologia para a composição de betões auto-compactáveis*”; Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2005.
- [4] OKAMURA, H. & OZAWA, K. - “*Mix-design for self-compacting concrete*”; *Concrete Library of JSCE*, n.º 25, pp. 107-120, June, 1995.
- [5] NAWA, T.; IZUMI, T.; EDAMATSU, Y. - “*State-of-the-art Report on materials and design of self-compacting concrete*”; *International Workshop on Self-compacting Concrete*; pp. 160-190, August, 1998.
- [6] GURJAR, ASHOK H. - “*Mix design and testing of SCC using Florida materials*”, final report submitted to the Florida Department of Transportation (contract nº BD 503); Department of Civil Engineering Embry-Riddle Aeronautical University Daytona Beach; December, 2004.