



**CENTRO
UNIVERSITÁRIO**



ENGENHARIA CIVIL
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

ANÁLISE DAS RECOMENDAÇÕES DA ABNT NBR 16697:2018 PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO₂ NA PRODUÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

AUGUSTO FARINON KRULIKOSKI¹; CAMILA FORIGO²

¹ Discente, Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, Cascavel-PR, augustofk.eng@gmail.com;

² Mestre Engenharia Civil, Prof. Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, Cascavel-PR, camilaforigo@fag.edu.br

Resumo: Entrou em vigor, no segundo semestre de 2018, a nova norma de especificação dos cimentos Portland. Trata-se de uma atualização das antigas normas vigentes sobre especificações do aglomerante unificadas em um único documento, a ABNT NBR 16697:2018, Cimento Portland - Requisitos. A indústria brasileira de cimento está empenhada em reduzir as emissões de CO₂ produzidas na fabricação dos cimentos e, em consonância a isto, a nova norma traz incentivos à incorporação de adições ativas aos diferentes tipos de cimento, possibilitando reduzir o percentual de clínquer na sua composição. Residuais de outras cadeias produtivas, a escória de alto-forno e as cinzas volantes, assim como o *filler* calcário, possibilitam reduzir as emissões de CO₂ do cimento, mantendo inalteradas suas características físicas, reológicas e mecânicas, como resistência à compressão nas diferentes idades de controle. O aumento no teor de adições ativas, determinado pela nova norma, acarreta na redução do fator “clínquer + sulfatos de cálcio” da composição do cimento, podendo ajudar a reduzir o nível de emissões de CO₂ e contribuindo para a sustentabilidade no setor da construção civil.

Palavras-chaves: Adições ativas. *Filler* calcário. Materiais cimentícios. Sustentabilidade. Teor de clínquer.

1. INTRODUÇÃO

A ABNT, fundada em 1940, é reconhecida como Foro Nacional de Normalização. Como entidade privada e sem fins lucrativos, a ABNT elabora as Normas Brasileiras (ABNT NBR), desempenhando suas atividades em alinhamento com os anseios da sociedade e dos governos, a ABNT colabora para a efetivação de políticas públicas, estimula o crescimento de mercados, ampara os consumidores e zela pela segurança de todos os cidadãos. (ABNT, 2014)

Após quatro meses de elaboração, entrou em vigor no dia 3 de julho de 2018 a nova norma de especificação do cimento Portland, a ABNT NBR 16697 (Cimento Portland – Requisitos).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2018) destaca que o texto da nova norma revisa, atualiza e unifica oito normas relacionadas ao material. “A unificação, que acompanha uma prática internacional já verificada na Argentina, México e em países da União Europeia, facilita a vida do consumidor, ao permitir que ele disponha de todas as informações em um só documento”, conclui a ABCP (2018).

Para Battagin (2018), gerente dos Laboratórios da ABCP e coordenador dos trabalhos da Comissão de Estudos do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (CB18), que tratou dessa norma, o texto da ABNT NBR 16697:2018 incentiva a sustentabilidade, mantendo a qualidade do cimento Portland. Por estes motivos, trata-se de um importante avanço para a sociedade brasileira. A elaboração da mesma resultou em uma ampla participação de representantes de consumidores, produtores, entidades de pesquisa, universidades e laboratórios privados.

Os gases responsáveis pelo efeito estufa no planeta Terra absorvem uma parte da radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre, impedindo que a radiação seja dispersa para o espaço, desta forma ocasionando o aquecimento da superfície terrestre. Dentre estes gases, podemos citar o gás carbônico e o gás metano como os principais responsáveis pelo efeito estufa, conforme descreve a Associação O Eco (2014).

Segundo a Associação O Eco (2014), o dióxido de carbono, também chamado de gás carbônico (CO_2) é emitido, majoritariamente, pelo uso de combustíveis fósseis nas atividades humanas, como, por exemplo o gás natural, o carvão e o petróleo. Dados do Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima apontam o CO_2 como o maior responsável pelo aquecimento global, sendo o gás mais emitido pelos seres humanos, um percentual de aproximadamente 78% das emissões totais.

As reações químicas na atmosfera e os processos naturais no solo contribuem para a eliminação do CO_2 . Para controlar a concentração deste gás na atmosfera a solução principal é

o sequestro de carbono. A medida pode ter origem natural ou artificial. As técnicas atuais para capturá-lo reproduzem ou visam reforçar as formas naturais, como florestas e oceanos que, pelo processo da fotossíntese, capturam o carbono e lançam oxigênio para a atmosfera. Como exemplos de medidas artificiais podemos citar o reflorestamento e o sequestro geológico de carbono, este que consiste na devolução do carbono para o subsolo, através da compressão, transporte e, por fim, injeção do carbono em um reservatório geológico, conforme descreve a Associação O Eco (2014).

Conforme destaca Yu (2004), a terminologia sequestro florestal de carbono tornou-se de grande notoriedade após o Protocolo de Kyoto, realizado em 1992, no qual foram reconhecidos os dispositivos para reduzir emissões de gases de efeito estufa (YU *apud* FAJARDO e TIMOFEICZYK JUNIOR, 2015).

Segundo Kulshreshtha *et al.* (2000), o sequestro de carbono tem por finalidade reduzir a concentração de gás carbônico da atmosfera, contribuindo consequentemente para reduzir o efeito estufa. O sequestro de carbono é um serviço ecossistêmico de grande importância, o qual é provido pelas florestas e contribui para mitigar as mudanças climáticas. Através da fotossíntese realizada pela vegetação, as plantas captam CO₂ da atmosfera e, por um período, armazenam carbono orgânico nas próprias plantas e na biomassa da raiz (KULSHRESHTHA *et al. apud* FAJARDO e TIMOFEICZYK JUNIOR, 2015).

Segundo Carvalho *et al.* (2010), atividades antrópicas contribuem para o aumento da emissão de gases de efeito estufa, acarretando em um aquecimento global. Dentre as estratégias citadas por Carvalho *et al.* (2010) para reduzir a emissão destes gases, pode-se destacar a redução do desmatamento, do uso de combustíveis fósseis, do uso inadequado do solo e diminuir incêndios de material vegetal. É igualmente importante determinar estratégias para maximizar o sequestro de carbono na vegetação e no solo.

Com essas informações, a justificativa para a realização desta pesquisa foi verificar as novas alternativas recomendadas pela norma ABNT NBR 16697:2018 para a redução das emissões de CO₂ na fabricação do cimento Portland, assunto relevante para a sociedade devido a questão da sustentabilidade no setor da construção civil, igualmente importante às características físicas, reológicas e mecânicas do aglomerante.

Para tanto, a pergunta respondida com a realização dessa pesquisa foi a seguinte: Quais as novas alternativas recomendadas pela última revisão da ABNT NBR 16697:2018 para redução das emissões de CO₂ na produção de cimento?

Este estudo esteve limitado ao levantamento das alternativas recomendadas pela norma ABNT NBR 16697:2018 dos requisitos do cimento Portland para redução das emissões de CO₂,

analisando as influências de âmbito nacional e internacional que direcionaram a norma a adotar este caráter sustentável.

O *Cement Technology Roadmap Brazil 2050*, também chamado de Mapeamento Tecnológico do Cimento ou *Roadmap* Tecnológico do Cimento, é um relatório divulgado no ano de 2019, resultado da compilação de pesquisas científicas, levantamento de dados e modelos matemáticos, que apresenta o potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050.

De acordo com todas as informações expostas anteriormente, este trabalho teve como objetivo geral analisar as medidas recomendadas na ABNT NBR 16697:2018 (Cimento Portland – Requisitos) para redução das emissões de CO₂ na fabricação do cimento Portland.

Salienta-se que para este trabalho científico obter êxito, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Realizar uma revisão bibliográfica acerca da ABNT NBR 16697:2018 e as normas que foram substituídas por esta;
- b) Verificar quais itens foram atualizados na nova norma;
- c) Identificar as premissas recomendadas pelo *Cement Technology Roadmap Brazil 2050*, quanto à redução de emissão de CO₂ na fabricação do cimento Portland.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cimento Portland

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), representada pelo Foro Nacional de Normalização, por meio de Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização, elaboraram a ABNT NBR 16697:2018, Cimento Portland – Requisitos.

A ABNT NBR 16697:2018 foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (ABNT/CB-018) e pela Comissão de Estudo de Cimentos, Matérias Primas e Adições (CE-018:100.001). O projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital N.º 04, de 4 de abril de 2018 a 3 de junho de 2018.

De acordo com o descrito no prefácio, esta norma cancela e substitui as ABNT NBR 5732:1991 (Cimento Portland Comum – CP I e CP I-S), ABNT NBR 5733:1991 (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V ARI), ABNT NBR 5735:1991 (Cimento Portland de Alto Forno – CP III), ABNT NBR 5736:1991 versão corrigida: 1999 (Cimento Portland Pozolânico – CP IV), ABNT NBR 5737:1992 (Cimento Portland Resistente a Sulfatos – RS),

ABNT NBR 11578:1991 versão corrigida:1997 (Cimento Portland Composto – CP II), ABNT NBR 12989:1993 (Cimento Portland Branco – CPB) e ABNT NBR 13116:1994 (Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação – BC).

Conforme define a ABNT NBR 16697:2018, o cimento Portland é o ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos em norma. Conforme as adições durante a fabricação, o cimento Portland se subdivide em diferentes grupos, que são: CP (Cimento Portland) comum sem adição (CP I) ou com adição (CP I-S); CP composto com escória granulada de alto forno (CP II-E), com material carbonático (CP II-F) ou com material pozolânico (CP II-Z); CP de alto-forno (CP III); CP pozolânico (CP IV); CP de alta resistência inicial (CP V) e CP branco estrutural (CPB) ou não estrutural (CPB).

O cimento Portland de alta resistência inicial apresenta com apenas 1 (um) dia de idade resistência à compressão igual ou superior a 14 MPa (Mega Pascal). Já o cimento Portland branco não estrutural não pertence a nenhuma classe de resistência. Os demais tipos de cimento Portland apresentam valores mínimos de resistência à compressão aos 28 (vinte e oito) dias de idade de 25, 32 ou 40 MPa, e todos os tipos de cimento, com exceção ao cimento Portland branco não estrutural, podem receber em sua nomenclatura o sufixo RS (resistente a sulfatos) ou BC (baixo calor de hidratação).

2.1.1 Limites de composição

Como apresentado na ABNT NBR 16697:2018, os diferentes tipos de cimento Portland constituem em sua composição os limites mínimos e máximos dos componentes apresentados no Quadro 01. A porcentagem de massa de clínquer e sulfatos de cálcio, escória granulada de alto-forno, material pozolânico, e material carbonático determinam a designação do cimento Portland.

Quadro 01 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa).

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clinker + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozzolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 - 100	0 - 5		
	CP I-S			90 - 94	0	0	6 - 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51 - 94	6 - 34	0	0 - 15
Cimento Portland composto com material pozzolânico	CP II-Z			71 - 94	0	6 - 14	0 - 15
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75 - 89	0	0	11 - 25
Cimento Portland de alto-forno	CP III			25 - 65	35 - 75	0	0 - 10
Cimento Portland pozzolânico	CP IV			45 - 85	0	15 - 50	0 - 10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V ¹	ARI		90 - 100	0	0	0 - 10
Cimento Portland branco estrutural	CPB	25, 32 ou 40		75 - 100	---	---	0 - 25
Cimento Portland branco não estrutural		---		50 - 74	---	---	26 - 50

¹ No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozzolânicos.

Fonte: ABNT NBR 16697, (2018).

2.2 Requisitos específicos

Conforme apresentado na ABNT NBR 16697:2018, o cimento Portland deve estar de acordo com requisitos químicos, em função de seu tipo, e requisitos físicos e mecânicos, em função de seu tipo e classe.

Os requisitos químicos são as porcentagens de massa de resíduo insolúvel, perda ao fogo, óxido de magnésio e trióxido de enxofre. Os requisitos físicos e mecânicos são representados pelos valores de resistência à compressão nas diferentes idades de controle, tempo de início de pega, finura, expansibilidade à quente e índice de brancura.

A norma descreve que no cimento Portland, o material carbonático utilizado como adição deve ter no mínimo 75% de CaCO_3 , e que não há limitação do teor de gipsita ou outras formas de sulfato de cálcio no cimento, sendo estabelecidos apenas valores-limite para SO_3 . Os Quadros 02 e 03 apresentam os requisitos químicos, físicos e mecânicos do cimento Portland.

Quadro 02 – Requisitos químicos do cimento Portland (expresso em porcentagem de massa).

Sigla ¹	Resíduo insolúvel (RI)	Perda ao fogo (PF)	Óxido de magnésio (MgO)	Trióxido de enxofre (SO₃)
CP I	≤ 5,0	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,5
CP I-S	≤ 3,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,5
CP II-E	≤ 5,0	≤ 8,5	---	≤ 4,5
CP II-F	≤ 7,5	≤ 12,5	---	≤ 4,5
CP II-Z	≤ 18,5	≤ 8,5	---	≤ 4,5
CP III	≤ 5,0	≤ 6,5	---	≤ 4,5
CP IV	---	≤ 6,5	---	≤ 4,5
CP V ²	≤ 3,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,5
CPB Estrutural	≤ 3,5	≤ 12,0	≤ 6,5	≤ 4,5
CPB Não estrutural	≤ 7,0	≤ 27,0	≤ 10,0	≤ 4,5
¹ Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente. ² No caso de cimentos resistentes a sulfatos derivados do cimento tipo CPV, não há limitação para RI e MgO.				

Fonte: ABNT NBR 16697, (2018).

Quadro 03 – Requisitos físicos e mecânicos.

Sigla ¹	Classe	Finura	Tempo de início de pega (min)	Expansibilidade a quente (mm)	Resistência à compressão (MPa)				Índice de brancura
		Resíduo na peneira 75 µm (%)			1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	---
CP I CP I-S CP II-E CP II-F CP II-Z	25	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	---	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	---
	32	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	---	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40	≤ 10,0	≥ 60	≤ 5	---	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP III CP IV	25	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	---	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	---
	32	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	---	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	---
	40	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	---	≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	---
CP V	ARI	≤ 6,0	≥ 60	≤ 5	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	---	---
CPB Estrutural	25	≤ 12 ²	≥ 60	≤ 5		≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 78
	32	≤ 12 ²	≥ 60	≤ 5		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40	≤ 12 ²	≥ 60	≤ 5		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CPB Não estrutural	---	≤ 12,0 ²	≥ 60	≤ 5	---	≥ 5,0	≥ 7,0	≥ 10,0	≥ 82

¹ Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.

² Resíduo na peneira 45 µm.

Fonte: ABNT NBR 16697, (2018).

A norma ainda estabelece determinações facultativas, que podem ser realizadas entre o consumidor e o fabricante, conforme apresenta o Quadro 04.

Quadro 04 – Determinações facultativas.

Sigla ¹	Classe	Enxofre na forma de sulfeto (%)	Tempo de fim de pega (min)	Expansibilidade a frio (mm)	Resistência à compressão aos 91 dias (MPa)	Anidrido carbônico (CO ₂) (%)
CP I	25, 32 ou 40	---	≤ 600	≤ 5	---	≤ 3,0
CP I-S						≤ 5,5
CP II-E	25, 32 ou 40	≤ 0,5				≤ 7,5
CP II-F	25, 32 ou 40	---				≤ 11,5
CP II-Z						≤ 7,5
CP III	25	≤ 1,0	≤ 720		≥ 32,0	≤ 5,5
	32				≥ 40,0	
	40				≥ 48,0	
CP IV	25	---			≥ 32,0	≤ 5,5
	32				≥ 40,0	
	40				≥ 48,0	
CP V	ARI	---	≤ 600		---	≤ 5,5
CPB Estrutural	25, 32 ou 40	---	≤ 600	≤ 5	---	≤ 12,0
CPB Não estrutural	---	---			---	≤ 27,0

¹ Estes requisitos podem ser aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla original seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.

Fonte: ABNT NBR 16697, (2018).

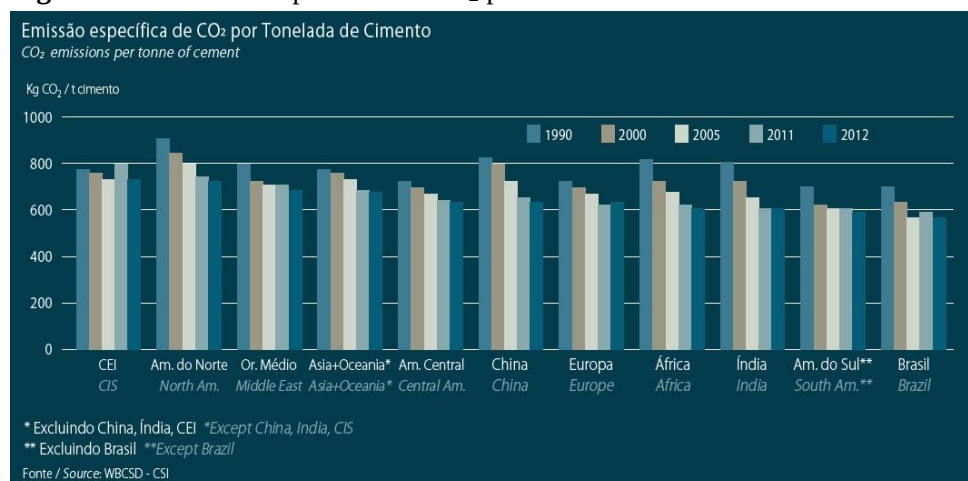
De acordo com a ABNT NBR 16697:2018, outras características facultativas podem ter seus valores solicitados, de comum acordo entre o consumidor e o fabricante. Estas características são: cloretos solúveis em água, área específica, teor de C_3A do clínquer, calor de hidratação, inibição da expansão devida à reação álcali-agregado, índice de consistência da argamassa normal, calor de hidratação para diferentes idades e tempo máximo de início de pega.

2.3 Emissões de CO₂ pelo cimento Portland

Dados apresentados no Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2013), apontam que a indústria do cimento brasileira se destaca, ano após ano, como a mais eficiente no controle de emissão específica de dióxido de carbono por tonelada de cimento. Isso deve-se aos esforços e estratégias implementadas ao longo das últimas décadas voltados para garantir maior eficiência energética, com a utilização de combustíveis alternativos, como biomassas e resíduos, também com adições de escória de alto forno, cinzas volantes, entre outras.

O gráfico de emissão específica de CO₂ por tonelada de cimento, publicado através do programa *Getting the Number Right* (GNR) do *Cement Sustainability Initiative* (CSI - WBCSD) é apresentado na Figura 01, onde pode-se observar a quantidade emitida de CO₂ por tonelada de cimento entre 1990 e 2012 em todos os continentes, dando destaque individual para países de grande representatividade mundial na produção e consumo de cimento, como a China e a Índia, ocupando no ano de 2012 (dados preliminares) primeiro e segundo lugares respectivamente, como maiores produtores e consumidores do aglomerante em questão (Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2013).

Figura 01 – Emissão específica de CO₂ por Tonelada de Cimento.



Fonte: WBCSD – CSI apud SNIC, 2013.

Como representado no gráfico, o Brasil é destaque por ser o menor emissor de CO₂ por tonelada de cimento. Desta forma, seu potencial de redução de emissões é menor, exigindo maior esforço para reduzir ainda mais este índice. (Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2013).

Dado a importância da sustentabilidade no setor da construção civil, a ABNT NBR 16697:2018 visa a um alinhamento com padrões normativos internacionais que atende aos direcionamentos da Iniciativa pela Sustentabilidade do Cimento (CSI) e da Agência Internacional de Energia (IEA), onde incentivam a redução de emissões específicas de CO₂ por tonelada de cimento, pela implementação de alternativas ou tecnologias mais avançadas no setor (ABCP, 2018).

2.4 Premissas recomendadas pelo *Cement Technology Roadmap Brazil 2050*

Sentindo-se a necessidade de uma visão para o futuro, foi lançado, em 2014, o Mapeamento Tecnológico do Cimento – Brasil.

O estudo, conforme aponta o Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2013), contou com a participação de quase toda a indústria do cimento brasileira, bem como da IEA (*International Energy Agency*) e da CSI/WBCSD (*Cement Sustainability Initiative/ World Business Council for Sustainable Development*), parceiros no projeto, além de seletos representantes do governo, academia e sociedade. O estudo foi coordenado pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), e pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

O Mapeamento Tecnológico do Cimento analisou o estado atual e futuro da indústria de cimento no Brasil, em termos de emissões de CO₂ e de suas principais alternativas de redução, a médio e longo prazo (2010 – 2050). Além disso, o estudo permitiu o levantamento das potencialidades, desafios e oportunidades que influenciam nestas alternativas, concluindo em uma série de recomendações a todos os *stakeholders*, sejam estes da própria indústria, centros de pesquisa, governo, fabricantes de equipamentos e da sociedade em geral (Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2013).

O objetivo do Mapeamento Tecnológico do Cimento – Brasil, conforme descreve o Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2013), consistiu em ajudar no complexo e necessário desafio da indústria do cimento, de continuar produzindo em atendimento à crescente demanda de um país ainda em desenvolvimento, porém mantendo, ou

até mesmo reduzindo, os níveis de emissões de gases que geram o efeito estufa, à exemplo do CO₂.

2.5 Mudanças na nova norma de especificação de cimento

Tem-se como característica da norma de especificação de cimento, ABNT NBR 16697:2018, a implementação, na norma, de práticas já adotadas pela indústria de cimento nos últimos anos, dentre as quais podemos destacar a eliminação do ensaio rotineiro de CO₂, tornando-se ensaio facultativo. A exemplo da prática adotada por outros países, a adição de calcário passa a ser controlada pelo ensaio químico de Perda ao Fogo (PF). Incluíram-se, também, informações referentes ao prazo de validade e composição qualitativa do cimento, em alinhamento ao Código de Defesa do Consumidor (CDC), lei 8078 (ABCP, 2018).

Dentre todas as inovações da nova norma de especificação de cimento, destaca-se o aumento, nos vários tipos de cimento, do teor de adição de *filler* calcário, atendendo os direcionamentos da Iniciativa pela Sustentabilidade do Cimento (CSI) e da Agência Internacional de Energia (IEA), que incentivam a redução de emissões específicas de CO₂ por tonelada de cimento e visando, ainda, um alinhamento com normas internacionais (ABCP, 2018).

Desta forma, a ABNT NBR 16697:2018, atende às premissas recomendadas pelo *Roadmap* tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 (ABCP, 2018).

Requisitos físicos, reológicos e mecânicos do cimento Portland não sofreram alterações. Desta forma, características dos cimentos como resistência à compressão nas diferentes idades de controle, tempos de pega, expansibilidade e finura permaneceram inalteradas (ABCP, 2018).

2.6 Cenários do *Roadmap* Tecnológico do Cimento Brasil

O *Roadmap* Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes (2019), consiste em um apanhado dos principais pontos relacionados aos objetivos; ações-chave para 2030 e principais conclusões do mapeamento em questão. Para este estudo, foram considerados dois cenários, sendo eles o “Cenário 6°C” e o “Cenário 2°C”, dos quais é possível projetar estimativas de emissão de CO₂ pela indústria de cimento brasileira ao longo do período compreendido até 2050, possibilitando comparativos entre os dois cenários.

De acordo com o *Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes* (2019), dentre os dois cenários abordados, o Cenário 6°C é o adotado como cenário de referência para este mapeamento. Ele é compreendido basicamente como uma extensão das práticas produtivas adotadas atualmente, desconsiderando esforços oriundos do setor industrial, do governo ou do público em geral com o objetivo de diminuir as emissões de CO₂.

No Cenário 6°C as emissões específicas permaneceriam constantes e consequentemente, com o crescimento da produção de cimento, o valor de emissão absoluta poderia alcançar a marca de 66 Mt de CO₂ no ano de 2050 (*Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes*, 2019).

Por outro lado, conforme aponta o *Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes* (2019), o Cenário 2°C considera alternativas visando grandes reduções nas emissões de carbono, de forma a adequar a indústria brasileira do cimento na condição de limitar o aquecimento global em 2°C até o ano de 2050.

Desta forma, no Cenário 2°C, o valor de emissão específica poderia baixar de 564 kg de CO₂ por tonelada de cimento, em 2014, para 375 kg de CO₂ por tonelada de cimento em 2050. Como consequência, o setor atingiria o valor de emissão absoluta de 44 Mt no ano de 2050, representando uma diminuição de 33% em comparação ao cenário 6°C. (*Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes*, 2019).

Ao comparar os dois cenários, no decorrer do período compreendido entre 2014 e 2050, ao se adotar as medidas sugeridas neste mapeamento, seria possível evitar a emissão de cerca de 420 Mt de CO₂. A substituição do clínquer apresenta-se como a alternativa mais importante para esta redução, capaz de evitar a emissão de 290 Mt de CO₂ entre os anos de 2014 e 2050, equivalente a 69% do potencial total de mitigação (*Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes*, 2019).

A adoção de combustíveis alternativos de menor intensidade em carbono, no passo em que o setor transita do coque de petróleo para os resíduos e biomassas, seria capaz de evitar a emissão de 55 Mt de CO₂, equivalente a 13% do potencial total de mitigação. A adoção de tecnologias inovadoras, à exemplo da CCUS, e o emprego de medidas de eficiência energética, contribuiriam com 38 Mt de CO₂ cada, equivalentes a 9% do potencial total de mitigação (*Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes*, 2019).

Na Tabela 01 é apresentado um comparativo entre os indicadores-chave para os Cenários 2°C e 6°C, no período compreendido entre 2014 e 2050.

Tabela 01 – Indicadores-chave entre 2014 e 2050.

	2014	2°C				6°C			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Produção de Cimento [Mt]	71	62	87	126	117	62	87	126	117
Fator Clínquer (relação clínquer/cimento)	0.67	0.66	0.59	0.54	0.52	0.67	0.67	0.67	0.67
Intensidade Térmica [GJ/t clínquer]	3.50	3.49	3.47	3.38	3.22	3.50	3.49	3.46	3.44
Intensidade Elétrica [kWh/t cimento]	113	110	106	95	91	111	108	101	99
Combustíveis Alternativos [% de substituição térmica]	15%	22%	35%	45%	55%	15%	15%	15%	15%
CCUS [Mt CO ₂ /ano]	-	-	-	1.7	3.3	-	-	-	-
Emissão Bruta [Mt CO ₂ /ano]	40	34	42	52	44	35	49	71	66
Emissão Específica [t CO ₂ /t cimento]	0.56	0.53	0.48	0.41	0.38	0.56	0.56	0.56	0.56

Fonte: IEA - modelagem desenvolvida para este projeto. © OECD/IEA, 2016 *apud Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes*, 2019.

Os valores mostrados na Tabela 01 consideram variantes dos cenários para baixa demanda. A adoção de combustível alternativo abrange resíduos e biomassas. Para a intensidade elétrica da produção de cimento, não está incluso a diminuição de eletricidade possibilitada pela utilização de equipamentos de WHR (Recuperação de calor residual) ou utilização de eletricidade em equipamentos de captura de carbono. A intensidade direta de CO₂ remete às emissões líquidas de CO₂, posteriores à captura de carbono (*Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes*, 2019).

3. METODOLOGIA

3.1 Descrição do método

Visando fundamentar as atualizações da nova norma dos requisitos dos cimentos Portland coletaram-se informações qualitativas, por meio de pesquisas bibliográficas e documentais, relacionadas à questão da sustentabilidade no setor da construção civil. Através deste estudo em materiais teóricos, buscou-se localizar fundamentação para as diretrizes traçadas pela ABNT NBR 16697:2018.

3.2 Material bibliográfico consultado e sequência cronológica

Para obtenção de êxito no estudo dos dados bibliográficos, realizou-se uma análise comparativa entre a ABNT NBR 16697:2018 e as normas técnicas substituídas por esta, relacionando requisitos físicos, reológicos e mecânicos dos cimentos Portland, além de abordar os incentivos à sustentabilidade presentes no novo texto.

Através de consultas bibliográficas e documentais, foram apresentados os responsáveis pela emissão do CO₂ pelo cimento Portland e como este gás relaciona-se com o meio ambiente.

Foram apresentados valores de emissão específica de CO₂ por tonelada de cimento e apresentadas as premissas recomendadas pelo Mapeamento Tecnológico do Cimento – Brasil, estudo que mapeia o estado atual e futuro da indústria de cimento no Brasil, em termos de emissões de CO₂ e de suas principais alternativas de redução, a médio e longo prazo (2010 – 2050).

Por meio dos dados apresentados na ABNT NBR 16697:2018, Cimento Portland – Requisitos, foi analisado se a norma técnica atende as premissas recomendadas pelo Mapeamento Tecnológico do Cimento – Brasil.

As representações numéricas abordadas neste artigo foram coletadas por meio de pesquisas bibliográficas e documentais, não havendo, por parte do autor, desenvolvimento de atividade em laboratório ou em campo, para coleta de dados.

4. ANÁLISES E DISCUSSÕES

4.1 Estratégias para reduzir a emissão de CO₂

A emissão de CO₂ é considerada um dos mais significativos impactos ambientais do concreto. Lima (2010), relata que entre todos os materiais do concreto, a produção do cimento é a responsável por 88,6% a 92,2% das emissões do CO₂. Conforme Souza (2012), outra parcela das emissões é atribuída ao transporte do concreto, representando cerca de 4% das emissões totais do mesmo (HEINRICHS *et al.*, 2014).

Segundo aponta Chen *et al.* (2010), a indústria de cimento está comprometida em reduzir as emissões de CO₂ do aglomerante produzido. Para diminuir os impactos ambientais oriundos do concreto, uma alternativa é a diminuição da quantidade de clínquer do cimento, dando espaço para as adições ativas, residuais de outras cadeias produtivas, como a escória de alto-forno, oriunda da produção do ferro-gusa, e as cinzas volantes, originadas da queima de carvão mineral, pressupondo a hipótese de que estas adições ativas não representam impacto ambiental para a indústria de cimento. (CHEN *et al.* *apud* HEINRICHS *et al.*, 2014).

Ainda conforme Chen *et al.* (2010), essa alternativa, de acordo com as técnicas de Análise de Ciclo de Vida (ACV), apresenta-se como uma das soluções mais bem acatadas na atualidade, no entanto, há questionamentos quanto a esta hipótese de nulidade de impacto ambiental na indústria cimenteira por parte das adições ativas, e a propensão do continente europeu é de designar a estes resíduos uma parcela do CO₂ emitido e demais impactos ambientais das atividades industriais que os deram origem. (CHEN *et al. apud* HEINRICHS *et al.*, 2014).

No Brasil, as antigas normas, conforme pode ser observado na Tabela 02, determinavam os teores de clínquer permitidos nos diferentes tipos de cimento e suas respectivas substituições. Pela interpretação da Tabela 02, observa-se que os cimentos que permitem maiores teores de substituição são o CP III e o CP IV, no entanto, ressalta-se que as faixas de adição são amplas. Conforme esta normalização, o cimento tipo CP II-E permite menos clínquer que o CP III. A característica de faixas de variação no teor de clínquer é compreensível, pelo fato da indústria de cimento não deter controle do volume ofertado e da reatividade das adições ativas, representadas pela cinza volante e escória. As porcentagens de substituição de clínquer tendem a diminuir em tempos de grande aumento da demanda de cimento, devido à produção de cimento crescer em maior velocidade que a de aço e energia, esta última proveniente da queima de carvão mineral (HEINRICHS *et al.*, 2014).

Segundo o Instituto Aço Brasil (2013), para o ano de 2012, a quantidade disponível de escória de alto-forno para a produção de cimento no Brasil, foi de aproximadamente 7,55x10⁶ toneladas. Em contrapartida, dados apresentados pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2010), apontam uma produção de cimento de mais de 59x10⁶ toneladas no ano de 2010. Com estes dados, estima-se que a escória de alto-forno disponível para substituir o clínquer representa pouco mais de 10% do consumo anual de cimento no Brasil, ou aproximadamente 22% para o Sudeste brasileiro. Conforme Humphreys e Mahasenan (2002), estima-se que a oferta de cinza volante também é incapaz de suprir a demanda da indústria cimenteira. (HEINRICHS *et al.*, 2014).

Tabela 02 - Composição do cimento de acordo com as normas brasileiras (% em massa).

Sigla	CP II - F	CP II - Z	CP II - E	CP III	CP IV	CP V - ARI
Classe (MPa)	25/32/40	25/32/40	25/32/40	25/32/40	25/32	
Clínquer + Sulfato de cálcio	90 a 94	76 a 94	56 a 94	25 a 65	55 a 85	95 a 100
Escória	-	-	6 a 34	35 a 70	15 a 40	
Pozolana	-	6 a 14	-		15 a 40	
Filler	6 a 10	0 a 10	0 a 10	0 a 5	0 a 5	0 a 5
Clínquer (sem os 4% de sulfato de cálcio)	86 – 90	72 – 90	52 – 90	21 -61	51 – 81	91 – 96
Norma técnica	NBR 11578 (ABNT, 1997)			NBR 5735 (ABNT, 1991a)	NBR 5736 (ABNT, 1999)	NBR 5733 (ABNT, 1991b)

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997, 1991a, 1991b, 1999) *apud* HEINRICHS *et al.* (2014).

Interpreta-se a Tabela 02 admitindo um teor de sulfato de cálcio médio de 4% para estimar o teor de clínquer (HEINRICHS *et al.*, 2014).

O impacto ambiental resultante de concretos e de outros produtos com cimento em sua composição depende do teor de cimento adotado e do impacto do aglomerante empregado. Para concretos com características de trabalhabilidade e resistência à compressão semelhantes, pode haver grandes diferenças no teor de cimento adotado. Isto é influenciado pelas condições de dosagem, dos materiais utilizados (reatividade do cimento, características físicas e mecânicas dos agregados e variabilidades no aditivo utilizado) e também variabilidade do processo (HEINRICHS *et al.*, 2014).

Segundo Lothenbach *et al.* (2008), Menéndez, Bonavetti e Irassar (2003), a fração reativa que faz parte do cimento também sofre variações, devido à variabilidade do teor de *filler*, e a reatividade dos *fillers* é significativamente inferior à do clínquer. (LOTTHENBACH *et al.*; MENÉNDEZ, BONAVENTTI e IRASSAR *apud* HEINRICHS *et al.*, 2014).

As empresas que produzem concreto podem administrar diversas variáveis que influenciam a relação do concreto produzido com o meio ambiente. Em contrapartida, algumas variáveis são controladas por quem produz as matérias-primas, principalmente o cimento, restando a possibilidade de optar pelo melhor fornecedor do mercado. O debate constante do potencial das mais variadas alternativas para administrar a emissão de CO₂ do concreto não tem se mostrado presente na literatura (HEINRICHS *et al.*, 2014).

A quantia de escória de alto-forno ofertada no Brasil não é controlada pela demanda da indústria cimenteira, mas pelo volume de ferro-gusa produzido. Sendo assim, variações na demanda de cimento são compensadas com mudanças no teor de clínquer (HEINRICHS *et al.*, 2014).

Isto deve-se ao fato de que a escória de alto-forno é um subproduto residual da produção de ferro-gusa. Sendo possível sua utilização como adição ativa no cimento, em substituição ao clínquer Portland, a produção do ferro-gusa não acompanha o crescimento da produção de cimento, restando aos produtores do aglomerante o aumento do teor de clínquer no cimento, em substituição à adição ativa em questão (escória de alto-forno).

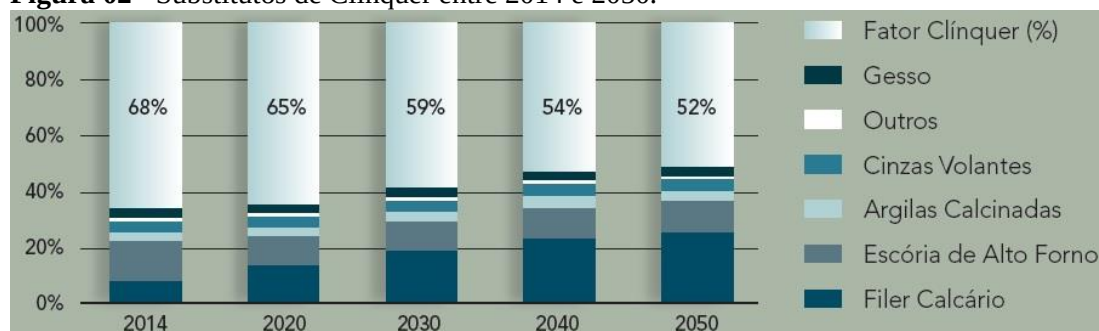
4.2 Principais conclusões do *Roadmap* Tecnológico do Cimento Brasil

Conforme aponta o *Roadmap* Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes (2019), como resultado de ações que estão sendo adotadas há algumas décadas, a indústria de cimento brasileira, em um cenário mundial, é responsável por um dos menores índices de emissão específica de CO₂. Embora a produção de cimento tenha aumentado de 26 para 71 Mt, entre os anos de 1990 e 2014 (aumento de 273%), a emissão total teve um crescimento mais baixo neste intervalo de tempo, crescimento este de 223%. Este resultado reflete a redução de 18% das emissões específicas, estas que viram seus números baixarem de 700 para 564 kg de CO₂ por tonelada de cimento.

Neste mesmo intervalo de tempo, houve redução de 17% do consumo térmico específico. A utilização de combustíveis alternativos cresceu de 5% para 19% e o uso de substitutos de clínquer teve um aumento de 20% para 33% (*Roadmap* Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes, 2019).

Segundo o *Roadmap* Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes (2019), enquanto a média mundial de consumo de cimento é de 553 kg/habitante/ano, a média brasileira é inferior a esta, 260 kg/habitante/ano, respectivamente. Somando-se a isso o elevado déficit de infraestrutura e habitacional do país e a expectativa de crescimento da população, estima-se uma retomada do crescimento na produção em um horizonte de médio a longo prazo, aumento este entre 60% e 120% para 2050, comparando com 2014 (nas variantes de baixa e alta demanda, respectivamente).

Conforme enfatiza o *Roadmap* Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes (2019), elevar o uso de adições, campo em que o Brasil se destaca atualmente, e reduzir a quantidade de clínquer do cimento é a principal alternativa para a indústria do cimento reduzir suas emissões. Com a redução da razão clínquer/cimento de 67% para 52%, em 2014 e 2050, respectivamente, torna-se possível evitar a emissão cumulativa de 290 Mt de CO₂, representando 69% do potencial de redução deste setor até 2050, o que pode ser observado na Figura 02.

Figura 02 - Substitutos de Clínquer entre 2014 e 2050.

Fonte: IEA - modelagem desenvolvida para este projeto. © OECD/IEA, 2016 *apud Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes*, 2019.

A segunda principal alternativa da indústria brasileira do cimento é substituir o uso de combustíveis fósseis não renováveis pelo uso de combustíveis alternativos. A expansão no uso destes energéticos, passando de 15% no ano de 2014 para 55% no ano de 2050, possibilita alcançar uma redução cumulativa de 55 Mt de CO₂, representando aproximadamente 13% do potencial de redução, ressalta o *Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes* (2019).

Objetivando atingir uma diminuição nas emissões, equivalente aos compromissos globais de menor impacto climático, mostram-se essenciais esforços complementares para desenvolvimento e implementação de recursos tecnológicos emergentes e inovadores, à exemplo da Captura e Uso ou Estocagem de Carbono (CCUS). Desta forma, torna-se praticável, a partir do ano de 2040, alcançar uma diminuição acumulada de 38 Mt de CO₂, equivalente a cerca de 9% do potencial de mitigação do setor até o ano de 2050. Medidas de eficiência energética, a partir de 2030, como a substituição gradual de equipamentos e unidades obsoletos por novas linhas dotadas da mais avançada tecnologia disponível (BAT), possibilitariam atingir, até 2050, uma redução acumulada de 38 Mt de CO₂, equivalente a 9% do potencial de mitigação do setor (*Roadmap Tecnológico do Cimento: Principais diretrizes*, 2019).

4.3 Requisitos atualizados pela nova norma

A ABNT NBR 16697:2018, Cimento Portland – Requisitos, unifica e atualiza oito normas referentes ao aglomerante. Entre os requisitos atualizados, pode-se destacar aqueles voltados à redução nas emissões de CO₂ para a atmosfera.

Conforme esclarece a ABCP (2018), dentre as atualizações, uma delas consiste na implementação de ensaio facultativo de CO₂, no lugar do ensaio rotineiro aplicado anteriormente.

Outra mudança, conforme descreve a ABCP (2018), consiste na implementação de ensaio químico de Perda ao Fogo (PF) para controlar a adição de calcário ao cimento, seguindo prática já adotada mundialmente.

Seguindo orientações da Iniciativa pela Sustentabilidade do Cimento (CSI) e da Agência Internacional de Energia (IEA), a nova norma de especificação de cimento estabelece aumento no teor de adição de *filler* calcário nos diferentes tipos de cimento, visando reduzir as emissões de CO₂ pelo aglomerante. (ABCP, 2018)

A ABNT NBR 16697:2018 mantém inalterados os requisitos físicos, mecânicos e reológicos. Permanece desta forma, como nas normas unificadas, os valores de resistência a compressão nas diferentes idades de controle, além de requisitos como finura, tempos de pega e expansibilidade, esclarece a ABCP (2018).

Ao comparar a nova norma de especificação de cimento com a ABNT NBR 5732:1991 – Cimento Portland comum, observa-se alteração no teor de “clínquer + sulfatos de cálcio”, uma vez que pela antiga norma o cimento tipo CP I deveria ser composto exclusivamente por estes componentes, impossibilitando adições de escória granulada de alto-forno, material pozzolânico e material carbonático. Já pela nova norma, este mesmo tipo de cimento permite uma adição (opcional) de até 5% de sua massa por escória granulada de alto-forno, material pozzolânico e/ou material carbonático, representando a possibilidade de reduzir o teor de clínquer + sulfatos de cálcio deste tipo de cimento. O cimento Portland comum tipo CP I-S passou a permitir um teor de adição de até 10% de sua massa por material carbonático, uma vez que pela norma de 1991, citada anteriormente, permitia no máximo 5% de sua massa composta por adições.

A antiga NBR 11578/1991 – Cimento Portland composto, estabelecia os teores dos componentes para o cimento tipo CP II-E em até 34% de sua massa representada por escória granulada de alto-forno e até 10% representada por material carbonático. A nova norma estabelece que este cimento pode ter um teor de adição de material carbonático mais alto, equivalente a até 15% de sua massa. O cimento tipo CP II-Z passou a permitir um teor de adição de material carbonático de até 15% de sua massa, adição esta que era de no máximo 10% na antiga norma. O cimento tipo CP II-F, que antes permitia um teor de adição de material carbonático entre 6 a 10% de sua massa, teve um aumento nessa porcentagem, sendo necessário pela nova norma o equivalente a 11 a 25% de sua massa representada por essa adição.

O cimento Portland de alto-forno era representado pela EB-208/1991 (NBR 5735, conforme registro no INMETRO), na qual este cimento, que recebe a sigla CP III, permitia um teor de adição de escória granulada de alto-forno entre 35 a 70% de sua massa e de até 5% de

sua massa em adição de material carbonático. Pela nova norma, esses teores aumentaram para 35 a 75% e até 10%, respectivamente.

O cimento Portland pozolânico (CP IV) era representado pela EB-758/1991 (NBR 5736, conforme registro no INMETRO), e estabelecia teor de adição de material carbonático de até 5% de sua massa, valor este que passou a ser de até 10% de sua massa, conforme estabelece a nova norma.

O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), era representado pela EB-2/1991 (NBR 5733, conforme registro no INMETRO), e permitia a adição de material carbonático em até 5% de sua massa, passando a ser permitido até 10% de sua massa para essa adição, conforme estabelece a nova norma.

A norma que determinava os teores de adição para o cimento Portland branco era a NBR 12989/1993. Tanto para o CPB estrutural, quanto para o não estrutural, as delimitações impostas para os teores de adição de material carbonático permaneceram inalteradas na nova norma.

As atualizações nos limites de composição do cimento Portland descritas acima, podem ser observadas no Quadro 05, de forma a comparar os teores de adições permitidos nas normas antigas com os da nova versão.

Quadro 05 – Atualizações dos limites de composição do cimento Portland.

Classificação	Normas Técnicas substituídas ¹	ABNT NBR 16697:2018
CP I	Impossibilidade de adições em sua composição	Até 5% de sua massa representada por adições
CP I-S	Até 5% de sua massa representada por adições	Até 10% de sua massa representada por material carbonático
CP II-E	Até 10% de sua massa representada por material carbonático	Até 15% de sua massa representada por material carbonático
CP II-Z	Até 10% de sua massa representada por material carbonático	Até 15% de sua massa representada por material carbonático
CP II-F	Até 10% de sua massa representada por material carbonático	Até 25% de sua massa representada por material carbonático
CP III	Até 70% de sua massa representada por escória de alto-forno	Até 75% de sua massa representada por escória de alto-forno
	Até 5% de sua massa representada por material carbonático	Até 10% de sua massa representada por material carbonático
CP IV	Até 5% de sua massa representada por material carbonático	Até 10% de sua massa representada por material carbonático
CP V-ARI	Até 5% de sua massa representada por material carbonático	Até 10% de sua massa representada por material carbonático
CPB Estrutural	Teores de adição de material carbonático permaneceram inalterados (até 25% de sua massa)	
CPB Não estrutural	Teores de adição de material carbonático permaneceram inalterados (até 50% de sua massa)	

¹ ABNT NBR 5732:1991, NBR 11578/1991, EB-208/1991 (NBR 5735), EB-758/1991 (NBR 5736), EB-2/1991 (NBR 5733), NBR 12989/1993

Fonte: O Autor, 2019.

À exemplo do representado na Figura 02, elevar o uso de adições na composição do cimento Portland, reduzindo seu percentual de clínquer, é a medida mais importante sugerida pelo *Roadmap* Tecnológico do Cimento Brasil para a indústria de cimento brasileira reduzir a emissão de CO₂ na fabricação do aglomerante.

Com base nesta comparação entre a ABNT NBR 16697:2018 com as respectivas normas técnicas substituídas é possível observar a mudança no aumento do teor de adições nos diferentes tipos de cimento. Tanto o material carbonático (*filler* calcário), quanto o material

pozolânico (cinzas volantes) e a escória granulada de alto-forno, são adições que, conforme têm seus teores aumentados na composição do cimento Portland, permitem redução nos teores de “clínquer + sulfatos de cálcio” para os diferentes tipos de cimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na ocasião do setor industrial fazer uso de todo estoque de adições ativas residuais ofertadas, a categoria do cimento utilizado não apresenta relevância para a efetiva mitigação de CO₂. Desta forma, ao selecionar um cimento considerando seu teor de clínquer, isso não influencia no cenário das emissões do Brasil (HEINRICHS *et al.*, 2014).

É errôneo concluir que, na redução da emissão de CO₂ de uma edificação por meio da escolha do concreto a ser utilizado ou mais especificamente do aglomerante em questão, diminui-se consequentemente a concentração de CO₂ global, uma vez que essa diminuição será compensada em outra obra edificada. Desta forma, é mais assertivo selecionar a empresa que fornece o aglomerante (cimento), não pelo tipo do cimento ou teor de clínquer médio do aglomerante, mas sim pelos critérios por ela adotados, como eficiência energética e matriz energética da empresa. (HEINRICHS *et al.*, 2014).

A produção de ferro-gusa, que dá origem à escória de alto-forno, não acompanha o crescimento da demanda de cimento dos últimos anos. Desta forma, ao aumentar a demanda de cimento no mercado, aumenta-se a produção de clínquer. Nessa condição, em que as adições apresentam-se maximizadas, com o crescimento da demanda de cimento, maior o teor de clínquer do cimento produzido no Brasil. Consequentemente, em termos de impacto global, o tipo de cimento adotado na construção de uma edificação em especial, não é de grande importância, uma vez que, em um cenário de utilização de um cimento do tipo CP III com objetivo de ser considerado mais sustentável, ainda assim, acarreta rotulação das edificações vizinhas de poluidoras, já que não existirá escória em oferta para todos (HEINRICHS *et al.*, 2014).

A nova norma dos requisitos do cimento Portland traz outras inovações importantes, como o incentivo à adoção de tecnologias mais avançadas ou outras alternativas para diminuir as emissões de CO₂ (dióxido de carbono), seguindo orientações da Agência Internacional de Energia (IEA) e da Iniciativa pela Sustentabilidade do Cimento (CSI).

Nesse contexto, a ABNT NBR 16697:2018 atende também as premissas recomendadas pelo *Cement Technology Roadmap Brazil 2050*, lançado em setembro de 2018, complementa a ABCP (2018).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **A nova norma de especificação de cimento ABNT NBR 16697: saiba o que mudou e o que não mudou.** Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/a-nova-norma-de-especificacao-de-cimento-abnt-nbr-16697-saiba-o-que-mudou-e-o-que-nao-mudou/>. Acessado em 15/03/2019 e 20/08/2019.

LIMA, J. A. R. DE. **Avaliação das Consequências da Produção de Concreto no Brasil Para as Mudanças Climáticas.** São Paulo, 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SOUZA, M. P. R. **Avaliação das Emissões de CO₂ Antrópico Associadas ao Processo de Produção e Concreto, Durante a Construção de Um Edifício Comercial, na Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2012.

ABNT NBR 16697:2018: **Cimento Portland – Requisitos.** 1.^a ed.. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Conheça a ABNT NBR 16697, nova norma de especificação de cimento.** Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/conheca-a-abnt-nbr-16697-nova-norma-de-especificacao-de-cimento/>. Acessado em 15/03/2019.

HUMPHREYS, K.; MAHASANAN, M. **Climate Change: toward a sustainable cement industry.** Battelle - World Business Council of Sustainable Development, 2002. Disponível em: <http://www.wbcsd.org/pages/edocument/edocumentdetails.aspx?id=148&nosearchcontextkey=true>.

JOHN, V. M. **Concreto Sustentável.** In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia.** São Paulo: Ibracon, 2011. v. 2.

CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE. **Cement Industry Energy and CO₂ Performance: “Getting the Numbers Right”.** World Business Council for Sustainable Development, 2009. Disponível em: <http://www.wbcsdcement.org/pdf/CSI%20GNR%20Report%20final%2018%206%2009.pdf>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: **cimento Portland composto: especificação.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5735: **cimento Portland de alto-forno.** Rio de Janeiro, 1991a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5736: **cimento Portland pozolânico.** Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733: **cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Conheça a ABNT**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt>>. Acessado em 02/10/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: **Cimento Portland composto: Especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5736: **Cimento Portland pozolânico: Especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5732: **Cimento Portland comum: Especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12989: **Cimento Portland branco: Especificação**. Rio de Janeiro, 1993.

CHEN, C. *et al.* **Environmental Impact of Cement Production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation**. Journal of Cleaner Production, v. 18, n. 5, p. 478-485, mar. 2010.

OLIVEIRA, V. C. H. C.; DAMINELI, B. L.; AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **Estratégias para a minimização da emissão de CO₂ de concretos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n.º. 4, p. 167-181, out./dez. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212014000400012&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acessado em 21/08/2019.

LOTTHENBACH, B. *et al.* **Influence of Limestone on the Hydration of Portland Cements**. Cement and Concrete Research, v. 38, n.º. 6, p. 848–860, 2008.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de Pesquisa**. 1.^a ed.. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível para *download* em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acessado em 08/05/2019.

GASES do efeito estufa: Dióxido de Carbono (CO₂) e Metano (CH₄). Dicionário Ambiental. **((o))eco**, Rio de Janeiro, abr. 2014. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28261-gases-do-efeito-estufa-dioxido-de-carbono-co2-e-metano-ch4/>>. Acesso em: 31 de maio de 2019.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório Anual – 2013**. Disponível para *download* em: <<http://snic.org.br/numeros-relatorio-anual.php>>. Acessado em 15/03/2019.

SINDICATO NACIONAL DA INSÚSTRIA DO CIMENTO. **ROADMAP TECNOLÓGICO DO CIMENTO**. Disponível para *download* em: <<http://snic.org.br/noticias-ver.php?id=28¬icia=Roadmap%20Tecnol%C3%B3gico%20do%20Cimento>>. Acessado em 07/05/2019.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2013**. 2013. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/relatorio_sustentabilidade_2013v3.pdf>.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório Sobre Produção anual de cimento Portland**. 2010. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/snic-relatorio2010-11_web.pdf>.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **ROADMAP TECNOLÓGICO DO CIMENTO: Principais diretrizes**. Disponível para *download* em: <<http://snic.org.br/noticias-ver.php?id=28¬icia=Roadmap%20Tecnol%C3%B3gico%20do%20Cimento>>. Acessado em 07/05/2019.

MENÉNDEZ, G.; BONAVENTTI, V.; IRASSAR, E. F. **Strength Development of Ternary Blended Cement With Limestone Filler and Blast-Furnace Slag**. Cement and Concrete Composites, v. 25, n.º. 1, p. 61–67, 2003.

CARVALHO, João Luis Nunes et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-290, abril de 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000200001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 04 de novembro de 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>.

FAJARDO, Ana Milena Plata; TIMOFEICZYK JUNIOR, Romano. Avaliação Financeira do Sequestro de Carbono na Serra de Baturité, Brasil, 2012. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v. 22, n. 3, p. 391-399, setembro de 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872015000300391&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 04 de novembro de 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.061413>.